



TUGAS AKHIR - SF 141501

MIKROZONASI KEGEMPAAN BERDASARKAN EFEK LOKAL, INDEKS KERENTANAN SEISMIK, DAN PERCEPATAN GETARAN TANAH DI KABUPATEN KLATEN, JAWA TENGAH

Anisah Rahmahnia
NRP 1113 100 004

Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono
Sulistiyani, S.Si

Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - SF 141501

**MIKROZONASI KEGEMPAAN BERDASARKAN
EFEK LOKAL, INDEKS KERENTANAN
SEISMIK, DAN PERCEPATAN GETARAN
TANAH DI KABUPATEN KLATEN, JAWA
TENGAH**

**Anisah Rahmahnia
NRP 1113 100 004**

**Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono
Sulistiyani S. Si**

**Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF 141501

**SEISMIC MICROZONATION BASED ON
LOCAL SITE EFFECT, VULNERABILITY
INDICES, AND PEAK GROUND
ACCELERATION IN KLATEN DISTRICT,
CENTRAL JAVA**

**Anisah Rahmahnia
NRP 1113 100 004**

**Advisor
Dr. Sungkono
Sulistiyani, S. Si**

**Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Science
Tenth Nopember of Technology Institute
Surabaya 2017**

**MIKROZONASI KEGEMPAAN BERDASARKAN EFEK
LOKAL, INDEKS KERENTANAN SEISMİK, DAN
PERCEPATAN GETARAN TANAH DI KABUPATEN
KLATEN, JAWA TENGAH**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains pada:
Program Sarjana Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ANISAH RAHMAHNIA

NRP. 1113 100 004

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Sungkono (Pembimbing I)
2. Sulistiyani, S. Si (Pembimbing II)



**SURABAYA
JULI, 2017**

**MIKROZONASI KEGEMPAAN BERDASARKAN EFEK
LOKAL, INDEKS KERENTANAN SEISMIK, DAN
PERCEPATAN GETARAN TANAH DI KABUPATEN
KLATEN, JAWA TENGAH**

Nama : Anisah Rahmahnia
NRP : 1113 100 004
Departemen : Fisika FMIPA ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sungkono
Sulistiyani, S. Si

ABSTRAK

Kabupaten Klaten memiliki kondisi geologi berupa endapan alluvial dan vulkanik Gunung Merapi. Endapan ini memiliki potensi besar terhadap efek intensitas getaran tanah dan bangunan yang disebabkan oleh gempa bumi. Mikrozonasi kegempaan di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah dilakukan berdasarkan nilai efek lokal, indeks kerentanan seismik dan percepatan getaran tanah di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Pengambilan data mikrotremor dilakukan di 411 titik pengukuran. Data kemudian dianalisa dengan metode HVSr dan metode RDM. Metode Kanai digunakan untuk menghitung besarnya nilai percepatan getaran tanah. Adapun hasil yang didapatkan ialah nilai frekuensi natural berkisar antara 0,569903 Hz – 14,0594 Hz, nilai amplifikasi berkisar antara 0,092461 – 14,681, nilai rasio redaman berkisar antara 0,023% - 91,9877%, nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,010955 – 113,534, dan nilai percepatan getaran tanah berkisar antara 29,35557 gal – 228,9516 gal. Parameter-parameter ini diproses menggunakan metode Gustafson-Kessel (GK) Clustering untuk menghasilkan mikrozonasi. Hasilnya menunjukkan bahwa wilayah penelitian di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah yang memiliki potensi tingkat kerusakan tinggi tersebar di bagian timur hingga tengah wilayah penelitian dan banyaknya kerusakan

bangunan karena Gempa Yogyakarta 2006 disebabkan oleh efek lokal. Hasil ini sesuai dengan data kerusakan bangunan karena gempa bumi Yogyakarta 2006.

Kata Kunci: *GK-Clustering, kerusakan bangunan, mikrozonasi kegempaan, mikrotremor, gempa bumi*

**SEISMIC MICROZONATION BASED ON LOCAL SITE
EFFECT, VULNERABILITY INDICES, AND PEAK
GROUND ACCELERATION KLATEN DISTRICT,
CENTRAL JAVA**

Name	: Anisah Rahmahnia
NRP	: 1113 100 004
Departement	: Physics, FMIPA-ITS
Advisor Lecturer	: Dr. Sungkono Sulistiyani, S. Si

ABSTRACT

Klaten ditrict has a geological condition such as alluvial sandstones and Merapi volcanic basins. Those condition have huge potential due to ground and structure acceleration cause of earthquake. Therefore, seismic microzonation map is required to reduce disaster risk on earthquake hazard. Seismic microzonation was conducted to estimate natural frequency, amplification, damping ratio, peak ground acceleration, vulnerability indices, and also doing seismic microzonation based on local effect, vulnerability indices and peak ground acceleration in Klaten district, Central Java. Data analysis was carried out on 411 point of microtremor acquisition. The data was processed with HVSR method and RDM method. Kanai Method was used for estimated the value of peak ground acceleration. The results are values of natural frequency varies from 0,569903 Hz – 14,0594 Hz, values of amplification varies from 0,092461 – 14,681, values of damping ratio varies from 0,023% - 91,9877%, and values of vulnerability indices varies from 29,35557 gal – 228,9516 gal. Those parameters has been processed by Gustasfon-Kessel Clustering Method to get the microzonation. The microzonation shows that Kabupaten Klaten, Central Java as a research area has high damage potential

spread on eastern until central area. This result is accordance with building damage data cause of Yogyakarta earthquake 2006.

Keyword : GK-Clustering, damage building, seismic microzonation, microtremor, earthquake

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kemudahan serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar kesarjanaan jurusan Fisika FMIPA ITS dengan topik Mikrozonasi Kegempaan Berdasarkan Efek Lokal, Indeks Kerentanan Seismik, dan Percepatan Getaran Tanah Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Penulis menyadari dengan terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Sungkono selaku dosen pembimbing, terima kasih atas saran-saran dan kesabarannya dalam membimbing.
2. Ibu Sulistiyani, S. Si selaku pembimbing penelitian di BPPTKG Yogyakarta, terimakasih atas saran-saran dan kesabarannya dalam membimbing.
3. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, S. U. dan Ibu Yanurita Dwi Hapsari, M. Sc selaku dosen penguji Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS.
5. Bapak Ir. I Gusti Made Agung Nandaka, DEA selaku Kepala BPPTKG Yogyakarta yang telah mengizinkan penulis untuk melaksanakan penelitian Tugas Akhir di BPPTKG Yogyakarta.
6. Seluruh staf pengajar di Jurusan Fisika ITS.
7. Kedua orang tua saya Bapak Ir. H. Sutarno dan Ibu Endang Retno Surachmi serta adik saya tercinta Alifian Rahmansyah yang selalu memberikan dukungan moral dan spiritual sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Bapak Toni Herman sekeluarga yang telah membantu memfasilitasi selama peneliti melakukan penelitian di Yogyakarta.
9. Para penghuni grup “Bisa Membagi Waktu” Ika Widya W., Vidya Amalia H., Shelly Permatasari, Aveni Christy K., Dewi

- Nora F., dan Dyah Nur R. yang selalu memberikan dukungan, bantuan dan hiburan selama penulis menjalani proses perkuliahan.
10. Aditya Yosita Rahadini dan Deviana Ambarsari yang telah kebersamai saya selama mengerjakan penelitian di Yogyakarta.
 11. Punggawa “SS Single” Fairus, Ajeng, Ira, Azizah, Fitri, Befie, Icha, Wilda dan Lia yang selalu bersedia membantu dan mengingatkan dalam hal kebaikan serta saling berbagi keceriaan kepada penulis.
 12. Pambayun Purbandini, Nisrina Ikbar R., dan Ahmad Farhan Farabi yang selalu setia menjadi pelipur lara dan kejenuhan dalam pengerjaan tugas akhir ini dengan canda tawa serta diskusi dalam mengenai memperjuangkan mimpi dan persiapan diri menuju ke tahap kehidupan selanjutnya.
 13. Lovita Octiara A., Meirza Cahya L., dan Bimo Kukuh Wicaksono yang selalu memberikan makna kehadiran dengan “kejutan-kejutan” di tiap awal fase pertambahan usia.
 14. Teman-teman seperjuangan bidang minat Fisika Bumi 2013.
 15. Seluruh penghuni Lab Geofisika terima kasih atas fasilitas dan sharing ilmunya.
 16. Keluarga besar Fisika 2013 terima kasih atas segala dukungan selama kuliah.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis berharap dan akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kebaikan penulis Tugas Akhir ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan memberikan inspirasi bagi pembaca untuk berkembang lebih lanjut.

Surabaya, 17 Juli 2017

Penulis
Anisah Rahmahnia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kondisi Umum Kabupaten Klaten	5
2.2 Gelombang Seismik	9
2.3 Mikrotremor	14
2.4 Metode HVSR.....	15
2.5 Metode RDM	16
2.6 <i>Fast Fourier Transform</i>	20

2.7 Hubungan Indeks Kerentanan Seismik (K_g) dan <i>Shear Strain</i> (γ)	21
2.8 Percepatan Getaran Tanah.....	24
2.9 <i>Gustafson-Kessel</i> (GK) <i>Clustering</i>	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Metode Penelitian.....	29
3.2 Lokasi Pengukuran.....	29
3.3 Tahap Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Analisa HVSr dan analisa RDM	35
4.2 Pembahasan.....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi lembar Surakarta – Girintoro (Surono et al., 1992)	9
Gambar 2.2 Pola penjalaran gelombang primer	10
Gambar 2.3 Pola penjalaran gelombang sekunder	10
Gambar 2.4 Pola perambatan gelombang Rayleigh	11
Gambar 2.5 Pola penjalaran gelombang Love	12
Gambar 2.6 Pemantulan dan pembiasan gelombang menurut Hukum Snellius.....	13
Gambar 2.7 Penjalaran gelombang berdasarkan Prinsip Huygens	14
Gambar 2.8 Representasi kurva getaran bebas dalam keadaan teredam (Fernández-Heredia et al., 2012).....	19
Gambar 2.9 <i>Surface Ground Strain</i>	23
Gambar 3.1 Persebaran titik pengukuran di lokasi penelitian	29
Gambar 3.2 Diagram alir analisa kurva HVSR	31
Gambar 3.3 Diagram alur penelitian	34
Gambar 4.1 Data hasil pengukuran pada titik 85	35
Gambar 4.2 Pemilihan <i>window</i> pada titik 85.....	36
Gambar 4.3 Kurva HVSR titik 85	36
Gambar 4.4 Grafik hasil pengolahan RDM titik 85	37
Gambar 4.5 Data kerusakan rumah di wilayah penelitian akibat gempa bumi 27 Mei 2006 (Suharna, 2008)	42
Gambar 4.6 Peta mikrozonasi menggunakan algoritma <i>GK Clustering</i> dengan parameter frekuensi natural, amplifikasi, dan percepatan getaran tanah sebagai <i>input</i>	43
Gambar 4.7 Peta mikrozonasi menggunakan algoritma <i>GK Clustering</i> dengan parameter indeks kerentanan seismik (K_g) dan percepatan getaran tanah sebagai <i>input</i>	44
Gambar 4.8 Peta mikrozonasi menggunakan algoritma <i>GK Clustering</i> dengan parameter indeks kerentanan	

seismik (Kg), percepatan getaran tanah, dan rasio redaman sebagai <i>input</i>	47
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan sumber mikrotremor berdasarkan frekuensi (Gutenberg (1958); Asten (1978); Asten and Henstridge (1984))	15
Tabel 2.2 Hubungan besar nilai <i>shear strain</i> terhadap fenomena yang ditimbulkan oleh gempabumi (Nakamura,1997) 22	
Tabel 4.1 Pembagian kelas berdasarkan metode <i>GK Clustering</i> .38	
Tabel 4.2 Hasil pengolahan dengan metode <i>GK Clustering</i> dengan parameter <i>input</i> frekuensi natural, amplifikasi, dan percepatan getaran tanah	38
Tabel 4.3 Hasil pengolahan dengan metode <i>GK Clustering</i> dengan parameter <i>input</i> indeks kerentanan seismik (<i>Kg</i>) dan percepatan getaran tanah	39
Tabel 4. 4 Hasil pengolahan dengan metode <i>GK Clustering</i> dengan parameter <i>input</i> indeks kerentanan seismik (<i>Kg</i>), percepatan getaran tanah, dan rasio redaman.....	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kepulauan Indonesia terletak pada batas pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia (*triple junction plate convergence*) yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia. Pertemuan lempeng Eurasia dan Indo-Australia yang berada di selatan pesisir Jawa merupakan salah satu sumber gempa dangkal. Gempabumi dengan kategori merusak yang melanda wilayah Jawa Tengah bagian selatan dan sekitarnya tercatat terjadi sebanyak lima kali gempabumi yakni pada tahun 1867, 1943, 1981, 2001, dan 2006 (Supartoyo and Surono, 2006). Pada tanggal 27 Mei 2006 telah terjadi gempabumi dengan magnitudo (M_w) sebesar 6.2 pada kedalaman 17,1 km berpusat didekat pantai (terletak pada posisi kurang lebih 25 km barat daya Yogyakarta) (USGS, 2006). Gempabumi tersebut merupakan akibat dari aktivitas Sesar Opak yang membentang dari pesisir pantai Bantul hingga Prambanan sepanjang 30 km dengan arah 30^0 NE (*Northeast*) (Rohadi, 2009).

Wilayah yang memiliki kondisi geologi berupa endapan alluvial, tuff serta batu pasir memiliki potensi besar terhadap efek intensitas getaran tanah akibat amplifikasi dan interaksi getaran tanah dengan bangunan yang disebabkan oleh gempabumi (Nakamura, 2000). Berdasarkan kondisi geologi, wilayah Kabupaten Klaten didominasi oleh endapan alluvial dan endapan vulkanik Gunung Merapi yang umumnya berupa lempung, pasir kerikil, kerakal, dan bongkahan batu beku (BPS Klaten, 2010). Dampak dari Gempabumi Yogyakarta 2006, di Kabupaten Klaten tercatat korban meninggal sebanyak 1.045 orang serta 18.127 mengalami luka-luka, sedangkan infrastruktur terdapat 32.277 rumah rusak berat, 63.165 rumah rusak ringan, 298 fasilitas pendidikan dan 111 fasilitas kesehatan rusak.

Upaya mitigasi bencana gempabumi sangat diperlukan untuk meminimalisir kerugian kebencanaan. Salah satu langkah yang

dapat dilakukan ialah dengan membuat peta mikrozonasi daerah rawan bencana gempa bumi. Melalui mikrozonasi dapat diketahui bahaya seismik daerah setempat serta memberikan batas-batas wilayah yang rawan (Fnais et al., 2010). Analisa *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dikembangkan oleh Nakamura (1989) merupakan salah satu metode yang efektif, murah, dan sederhana yang telah banyak digunakan untuk mengetahui tingkat bahaya dari suatu tempat berdasarkan efek lokal melalui parameter-parameter fisika diantaranya amplifikasi getaran, frekuensi natural, dan juga redaman gelombang (Gosar et al., 2010; Castellaro, 2016). Selain akibat efek lokal, tingkat kerusakan akibat gempa bumi juga dipengaruhi oleh besarnya nilai percepatan getaran tanah dan juga indeks kerentanan seismik suatu daerah (Febriani et al., 2014). Untuk menghasilkan peta mikrozonasi yang terintegrasi dari beberapa parameter tersebut dapat digunakan metode Gustafson–Kessel (GK) *clustering* sebagaimana yang pernah dilakukan oleh Utama et al. (2011). Parameter yang digunakan ialah seluruh parameter penting yang diperlukan dalam mikrozonasi kegempaan. Dengan demikian, diperlukan suatu penelitian untuk menghasilkan peta mikrozonasi berdasarkan efek lokal serta analisa nilai PGA dan indeks kerentanan seismik di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat disusun beberapa rumusan masalah sebagaimana berikut:

1. Bagaimana menentukan besarnya frekuensi natural dan amplifikasi tanah di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah menggunakan metode mikrotremor?
2. Bagaimana menentukan besarnya rasio redaman tanah di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah dari data mikrotremor?
3. Bagaimana menentukan besarnya percepatan getaran tanah dan indeks kerentanan seismik di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah?

4. Bagaimana melakukan mikrozonasi kegempaan akibat efek lokal dan percepatan getaran tanah di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah?

1.3 Batasan Masalah

Agar bahasan dari penelitian tugas akhir ini tidak melebar maka disusun batasan masalah sebagaimana berikut:

1. Penelitian ini membahas tentang mikrozonasi kegempaan akibat efek lokal berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah.
2. Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode HVSr untuk mendapatkan nilai frekuensi natural serta faktor amplifikasi yang kemudian digunakan untuk mengestimasi nilai percepatan getaran tanah Kabupaten Klaten, Jawa Tengah dengan menggunakan Metode Kanai.
3. Pengolahan data untuk mendapatkan nilai rasio redaman menggunakan metode RDM.
4. Peta mikrozonasi yang dihasilkan pada penelitian ini berdasarkan penggunaan metode *GK Clustering*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini ialah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai frekuensi natural dan amplifikasi tanah di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah menggunakan metode mikrotremor.
2. Menentukan besarnya rasio redaman tanah Kabupaten Klaten, Jawa Tengah dari data mikrotremor.
3. Menentukan besarnya percepatan getaran tanah dan indeks kerentanan seismic di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah.
4. Melakukan mikrozonasi kegempaan akibat efek lokal dan percepatan getaran tanah di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan distribusi frekuensi natural, amplifikasi, percepatan

getaran tanah, dan indeks kerentanan tanah di wilayah Kabupaten Klaten, Jawa Tengah yang diterapkan melalui peta mikrozonasi kegempaan berdasarkan efek lokal yang dapat digunakan sebagai rekomendasi oleh pihak-pihak terkait dalam menyusun suatu kebijakan mitigasi bencana dan pengembangan daerah.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar, sistematika penulisan tugas akhir ini meliputi:

- Bab I Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, dan sistematika penulisan laporan.
- Bab II Dasar Teori, memaparkan tentang teori sebagai landasan penyusunan tugas akhir.
- Bab III Metodologi, berisi tentang prosedur kerja yang digunakan dalam tugas akhir.
- Bab IV Analisa Data dan Pembahasan, merupakan suatu tahap pengolahan dan analisa yang didapatkan selama tugas akhir.
- Bab V Penutup, merupakan bagian penutup tugas akhir meliputi Kesimpulan dan Saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Umum Kabupaten Klaten

Secara geografis Kabupaten Klaten terletak antara $110^{\circ} 16' 14''$ - $110^{\circ} 48' 33''$ BT dan $7^{\circ} 32' 19''$ - $7^{\circ} 48' 33''$ LS. Di sebelah utara Kabupaten Klaten berbatasan dengan Kabupaten Boyolali, sementara di sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Sukoharjo, sedangkan di sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Sleman, dan di sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Gunung Kidul (BPS Klaten, 2010).

Secara fisiografi Kabupaten Klaten terletak pada Zona Pegunungan Selatan (Van Bemmelen, 1949). Secara stratigrafi Zona Pegunungan Selatan dibagi menjadi dua bagian, yakni bagian barat (Parangtritis – Wonosari) dan bagian timur (Wonosari – Pacitan). Berikut ini merupakan penjelasan stratigrafi pegunungan selatan bagian barat berdasarkan urutan umur dari tua ke muda:

a. Formasi Wungkal dan Formasi Gamping

Formasi wungkal dicirikan oleh kalkanerit dengan sisipan batu pasir dan batu lempung, sedangkan formasi gamping dicirikan oleh kalkanerit dan batu pasir tuffan. Di daerah Gamping yang terletak pada sebelah barat Kota Yogyakarta, formasi gamping dicirikan oleh batugamping yang berasosiasi dengan gamping terumbu. Menurut tafsiran Bothe (1929) serta Sumarso (1975) hubungan antara kedua formasi tersebut selaras. Kedua formasi tersebut berumur Eosen Tengah – Eosen Atas. Formasi Wungkal dan Formasi Gamping secara tidak selaras ditutupi oleh sedimen vulkanoklastik yang dikelompokkan sebagai: Formasi Kebo, Formasi Butak, Formasi Semilir, Formasi Nglanggeran, dan Formasi Sambipitu.

b. Formasi Kebo

Formasi Kebo terdiri dari perselingan konglomerat, batu pasir tuffan, serpih, dan lanau. Pada beberapa tempat dapat ditemui lava bantal dan intrusi diorite. Ketebalan Formasi Kebo sekitar

800 meter dan diendapkan dengan mekanisme *gravity flow* pada lingkungan laut.

c. Formasi Butak

Lokasi dari formasi ini terletak di Gunung Butak pada sub-zona Baturagung. Formasi ini tersusun oleh breksi, batu pasit tuffan, konglomerat, batu apung, batu lempung, dan serpih yang memperlihatkan perselingan serta menunjukkan ciri endapan aliran gravitasi pada lingkungan laut. Formasi ini berumur oligosen. Pada beberapa tempat ciri Formasi Kebo dan Formasi Butak tidak dapat dibedakan sehingga pada umumnya beberapa peneliti menyebut formasi ini sebagai Formasi Kebo-Butak yang berumur Oligosen Atas.

d. Formasi Semilir

Formasi Semilir tersingkap di Gunung Semilir sekitar Baturagung. Formasi ini terdiri dari perselingan tufa, tufa lapilli, batu pasir tufaan, batu lempung, serpih, serta batu lanau dengan sisipan breksi yang merupakan endapan aliran gravitasi di lingkungan laut dalam. Formasi ini berumur Oligosen Awal.

e. Formasi Nglanggeran

Formasi ini berada pada Desa Nglanggeran. Formasi Nglanggeran terdiri dari breksi dengan sisipan pasir batu tufaan yang merupakan ciri endapan aliran gravitasi di lingkungan laut. Formasi ini berumur Oligosen Akhir. Umumnya Formasi Nglanggeran selaras dengan Formasi Semilir namun pada lokasi lain kedua formasi ini saling bersilangan.

f. Formasi Sambipitu

Formasi ini terletak di Desa Sambipitu. Formasi Sambipitu tersusun oleh peselingan batu pasir tufaan, serpih, dan batu lanau yang merupakan ciri dari endapan turbidit. Pada bagian atas dapat dijumpai adanya struktur slup berskala besar. Formasi ini selaras dengan Formasi Nglanggeran dan merupakan endapan lingkungan laut pada Miosen Awal bagian tengah – Miosen Awal bagian akhir.

g. Formasi Oyo

Formasi ini tersingkap di Kali Oyo. Formasi Oyo terdiri dari perselingan batu gamping bioklastik, kalkanerit, batu gamping pasiran serta napal dengan sisipan konglomerat batu gamping. Satuan ini diendapkan di lingkungan paparan dangkal pada Miosen Tengah.

h. Formasi Wonosari

Formasi ini tersingkap di daerah Wonosari dan sekitarnya dan membentuk morfologi karts yang terdiri dari batu gamping terumbu, batu gamping bioklastik berlapis serta napal. Satuan ini merupakan endapan karbonat paparan pada Miosen Tengah hingga Miosen Akhir. Formasi Wonosari selaras dengan Formasi Oyo, namun di beberapa tempat bagian bawah formasi saling berhubungan silang jari dengan Formasi Oyo.

i. Formasi Kepek

Lokasi formasi ini berada di Kali Kepek. Formasi Kepek tersusun atas batuan gamping dan napal dengan ketebalan hingga 200 meter. Litologi dari satuan ini menunjukkan ciri endapan paparan laut dangkal dan merupakan bagian dari sistem endapan karbonat paparan pada umur Miosen Akhir. Formasi ini mempunyai hubungan silang jari dengan batuan gamping terumbu Formasi Wonosari. Pada bagian atas batuan karbonat secara tidak selaras terdapat batu lempung hitam dengan ketebalan 10 meter. Satuan ini menunjukkan ciri endapan danau pada daerah Baturetno pada waktu Plistosen. Selain itu juga terdapat laterit berwarna merah hingga coklat kemerahan sebagai endapan terrarosa yang umumnya menempati uvala pada morfologi karst. Pada lokasi yang lain terdapat hubungan antara sedimen vulkanoklastik dan sedimen karbonat yang berubah secara berangsur-angsur.

Secara struktur geologi BPS Klaten (2010) menjabarkan klasifikasi tanah di Kabupaten Klaten tersusun dari:

a. Litosol

Merupakan bahan induk dari skis kristalin dan batu tulis yang terdapat di Kecamatan Bayat

b. Regosol Kelabu

Merupakan bahan induk abu dan pasir vulkan intermedier yang terdapat di Kecamatan Cawas, Kecamatan Trucuk, Kecamatan Klaten Tengah, Kecamatan Kalikotes, Kecamatan Kebonarum, Kecamatan Klaten Selatan, Kecamatan Karangnongko, Kecamatan Ngawen, Klaten Utara, Kecamatan Ceper, Kecamatan Pedan Karangdowo, Kecamatan Juwiring, Kecamatan Wonosari, Kecamatan Delanggu, Kecamatan Pulanharjo, Kecamatan Karanganom, Kecamatan Tulung, dan Kecamatan Jatianom.

c. Grumusol Kelabu Tua

Merupakan bahan induk berupa abu dan pasir vulkan intermedier yang terdapat di Kecamatan Bayat dan Kecamatan Cawas bagian selatan.

d. Kompleks Regosol Kelabu dan Kelabu Tua

Merupakan bahan induk berupa batu kapur napal yang terdapat di Kecamatan Klaten Tengah dan Kecamatan Kalikotes bagian selatan.

e. Regosol Coklat Kekelabuan

Merupakan bahan induk berupa abu dan pasir vulkan intermedier yang terdapat di Kecamatan Kemalang, Kecamatan Manisrenggo, Kecamatan Prambanan, Kecamatan Jogonalan, Kecamatan Gantiwerno, dan Kecamatan Wedi.

Kabupaten Klaten didominasi oleh endapan vulkanik Gunung Merapi dan endapan alluvial sebagaimana yang tertera pada Gambar 2.1. Endapan vulkanik Gunung Merapi merupakan endapan hasil erupsi Gunung Merapi yang tersebar hingga bagian tenggara Kabupaten Klaten yang umumnya berupa pasir, kerikil, berangkal, dan bongkahan batu beku. Sementara endapan alluvial pada umumnya berupa sungai atau hasil transportasi dari hasil pelapukan batuan yang sudah berumur tua yang sebarannya terdapat di Kali Dengkeng dan umumnya berupa lempung, pasir kerikil, serta kerakal (BPS Klaten, 2010).

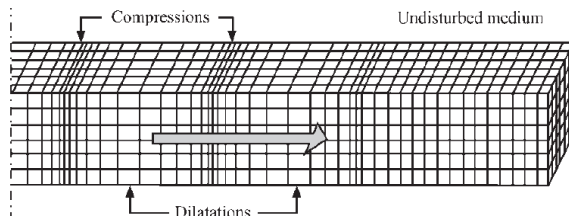
2.2 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanis yang muncul karena adanya gempabumi. Secara umum juga dapat diartikan sebagai fenomena penjalaran gelombang yang diakibatkan karena adanya gangguan pada medium disekitarnya. Gelombang seismik dapat dimunculkan melalui dua metode, yakni metode aktif dan metode pasif. Metode aktif ialah metode yang dengan sengaja menimbulkan gangguan yang dibuat oleh manusia, sedangkan metode pasif ialah gangguan yang muncul secara alamiah. Gelombang seismik tersusun atas gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

Gelombang badan merupakan gelombang yang arah rambatnya masuk ke bawah permukaan bumi. Gelombang badan terdiri dari:

a. Gelombang Primer

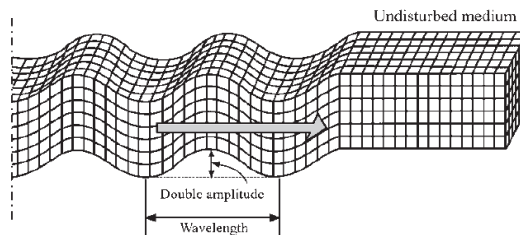
Gelombang primer merupakan gelombang yang arah getarnya searah dengan arah rambat gelombang tersebut sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Cepat rambat dari gelombang primer lebih besar dibandingkan dengan gelombang seismik lain. Gelombang primer dapat menjalar pada semua medium.



Gambar 2. 2 Pola penalaran gelombang primer

b. Gelombang Sekunder

Gelombang sekunder merupakan gelombang yang arah getarnya tegak lurus terhadap arah rambat gelombang tersebut sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Gelombang sekunder hanya dapat merambat pada material padat. Cepat rambat dari gelombang sekunder lebih kecil dibandingkan dengan gelombang primer.

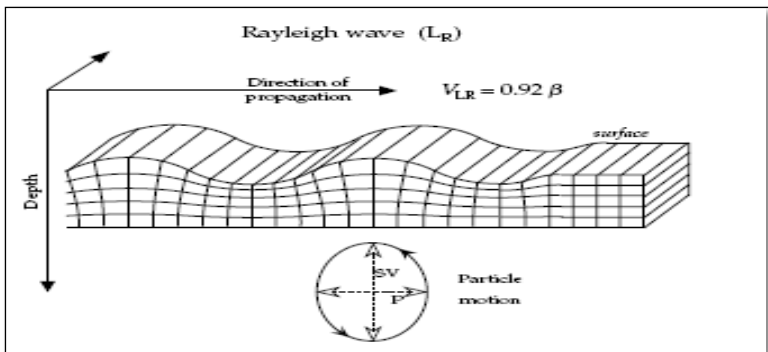


Gambar 2. 3 Pola penalaran gelombang sekunder

Sementara gelombang permukaan merupakan gelombang yang arah rambatnya hanya pada batas permukaan medium. Gelombang permukaan terdiri dari:

a. Gelombang Rayleigh

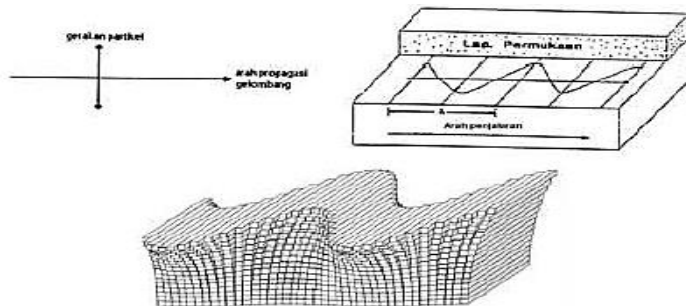
Gelombang rayleigh merupakan hasil interaksi dari gelombang P dan gelombang SV pada permukaan dan merambat secara paralel. Gelombang rayleigh merambat pada permukaan dengan arah gerak partikel berbentuk elips seperti pada Gambar 2.4. Gelombang Rayleigh hanya dapat merambat pada medium padat saja.



Gambar 2. 4 Pola perambatan gelombang Rayleigh

b. Gelombang Love

Gelombang love merupakan hasil interferensi konstruktif antar refleksi dari gelombang SH pada permukaan bebas. Gelombang love hanya merambat pada batas lapisan. Gerak partikel pada gelombang love paralel terhadap permukaan namun tegak lurus terhadap arah penjalarannya seperti pada Gambar 2.5.



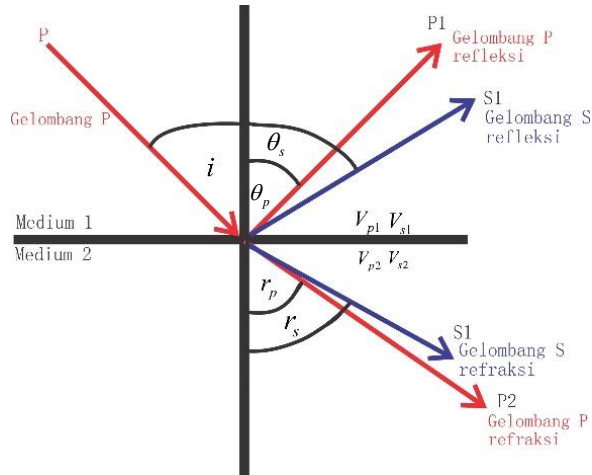
Gambar 2. 5 Pola penjalaran gelombang Love

Dasar mekanisme penjalaran dari gelombang seismik meliputi hukum snellius, Prinsip Huygens serta Prinsip Fermat. Berikut ini penjalaran dari masing-masing mekanisme penjalaran gelombang seismik:

a. Hukum Snellius

Saat gelombang seismik menjalar melalui lapisan batuan dengan impedansi akustik yang berbeda dari lapisan batuan yang dilewati sebelumnya, maka sebagian gelombang tersebut akan terefleksikan kembali ke permukaan dan sebagian lainnya akan diteruskan merambat ke bawah permukaan. Penjalaran gelombang tersebut mengikuti Hukum Snellius sebagaimana yang terdapat pada Gambar 2.6 dimana sudut pantul dan sudut bias merupakan fungsi dari sudut datang dan kecepatan gelombang. Ketika gelombang seismik mengenai permukaan dimana biasanya merupakan gelombang P mengenai bidang batas antara dua medium berbeda maka akan timbul gelombang refraksi dan refleksi (Hutabarat, 2009). Mengacu pada Gambar 2.6 dapat kita amati sebagian dari energi gelombang P akan direfraksikan menjadi gelombang P dan gelombang S dan sebagiannya lagi direfleksikan menjadi gelombang P dan gelombang S pula. Hukum snellius dapat dinyatakan sebagaimana berikut:

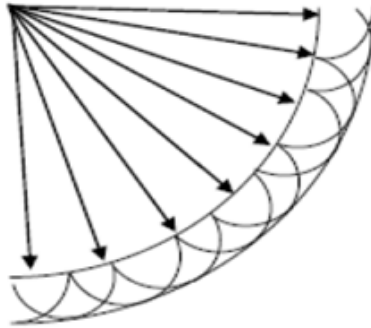
$$\frac{v}{\sin i} = \frac{V_{p1}}{\sin \theta_p} = \frac{V_{p2}}{\sin r_p} = \frac{V_{s1}}{\sin \theta_s} = \frac{V_{s2}}{\sin r_s} \quad (2.1)$$



Gambar 2. 6 Pemantulan dan pembiasan gelombang menurut Hukum Snellius

b. Prinsip Huygens

Prinsip Huygens menyatakan setiap titik pada muka gelombang merupakan sumber bagi gelombang baru. Posisi muka gelombang dapat ditemukan dengan membentuk garis singgung permukaan untuk semua *wavelet* sekunder sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Seiring bertambahnya kedalaman maka sebuah pulsa seismik akan kehilangan energinya (Asparini, 2011).



Gambar 2. 7 Penjalaran gelombang berdasarkan Prinsip Huygens

c. Prinsip Fermat

Gelombang seismik menjalar dari satu titik ke titik yang lain melalui jalan yang waktu penjalarannya paling singkat. Dengan demikian, apabila gelombang seismik melewati medium yang memiliki variasi kecepatan gelombang maka gelombang tersebut akan memiliki kecenderungan untuk melalui zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona-zona kecepatan rendah (Jamady, 2011).

2.3 Mikrotremor

Kanai (1983) menjabarkan mikrotremor sebagai getaran alami tanah yang terjadi secara terus-menerus yang terjebak pada lapisan sedimen permukaan dan terpantulkan oleh bidang batas lapisan dengan frekuensi tetap. Getaran tersebut disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Analisa mikrotremor didasarkan pada perekaman *ambient noise* sebagai penentu parameter karakteristik dinamika (frekuensi natural dan rasio redaman) serta fungsi perpindahan (frekuensi dan amplifikasi) pada bangunan (Herak, 2008).

Sumber dari mikrotremor terbagi menjadi dua, yakni sumber natural dan sumber kultural. Sumber natural berupa manifestasi getaran seperti gelombang pasang, gelombang laut, mikroseismik, angin, efek angin pada pohon atau bangunan. Sementara sumber

kultural berupa getaran yang berasal dari industri mesin, mobil, aktivitas manusia, dan sebagainya. Berdasarkan pada pengamatan yang telah dilakukan oleh Gutenberg (1958), Asten (1978), Asten and Henstridge (1984), Bonnefoy-Claudet et al. (2006) menyimpulkan bahwa frekuensi rendah berkisar di bawah 1 Hz merupakan sumber *noise* seismik alami. Sedangkan frekuensi yang berkisar antara 1 -10 Hz merupakan sumber alami dan kultural. Nilai frekuensi yang tinggi bersumber dari aktivitas manusia. Tabel 2.1 merupakan tabel daftar perbedaan jenis sumber mikrotremor berdasarkan nilai frekuensinya.

Tabel 2.1 Ringkasan sumber mikrotremor berdasarkan frekuensi (Gutenberg (1958); Asten (1978); Asten and Henstridge (1984))

Sumber	Gutenberg (1958)	Asten (1978, 1984)
Gelombang laut	0.05 – 0.1 Hz	0.5 – 1.2 Hz
Gangguan meteorologi dengan skala besar (<i>monsoon</i>)	0.1 – 0.25 Hz	0.16 – 0.5 Hz
Badai siklon di sepanjang laut	0.3 – 1 Hz	0.5 – 3 Hz
Kondisi meteorologi skala lokal	1.4 – 5 Hz	-
Tremor vulkanik	2 – 10 Hz	-
Kepadatan penduduk	1 – 100 Hz	1.1 – 30 Hz

2.4 Metode HVSR

Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) merupakan pendekatan survey mikrotremor yang diusulkan oleh Nakamura (1989). Metode ini digunakan untuk mengestimasi nilai amplifikasi dan nilai frekuensi natural dari suatu tempat yang dapat diperkirakan melalui periode puncak perbandingan H/V mikrotremor (Nakamura, 2000). Metode ini telah berhasil

melokalisir daerah rawan kerusakan bangunan yang disebabkan oleh efek lokal (Panou et al., 2005).

Asumsi Nakamura (1989) menyatakan mikrotremor didominasi oleh gelombang geser dan mengabaikan gelombang permukaan. Menurut Bonnefoy-Claudet et al. (2006) gelombang mikrotremor tersusun atas gelombang Rayleigh dan Love dengan proporsi tertentu. Perbedaan pendapat ini mendorong Nakamura (2008) untuk membuktikan efek gelombang Rayleigh terhadap kurva HVSR. Berdasarkan penelitiannya, kurva HVSR sekitar frekuensi natural tidak terpengaruh gelombang Rayleigh, namun pada frekuensi yang lebih tinggi terpengaruh. Hal ini didukung oleh Dal Moro (2010) yang menjelaskan bahwa pada frekuensi tinggi, kurva HVSR terkadang terdapat puncak. Hal tersebut menunjukkan bahwa kurva HVSR pada frekuensi tinggi memiliki sumbangsih dari gelombang permukaan.

Pembuktian selanjutnya berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Garcia-Jerez et al. (2016) mengenai inversi HVSR. Garcia-Jerez melakukan pengamatan melalui pemodelan kurva dispersi yang dihasilkan melalui kontribusi gelombang Rayleigh, gelombang Love, dan gelombang badan menggunakan algoritma *simulated annealing* dan Monte Carlo. Hasil inversi data menunjukkan komponen horizontal pada kedua model didominasi oleh gelombang permukaan pada frekuensi 0,7 Hz dimana gelombang Love merupakan komponen utama gelombang. Sementara komponen vertikal pada kedua model didominasi oleh gelombang Rayleigh. Dan gelombang SH berkontribusi utama pada frekuensi rendah.

2.5 Metode RDM

Random Decrement Method (RDM) merupakan suatu metode yang sering digunakan dalam mengidentifikasi karakteristik dinamik. Aplikasi dari metode RDM telah banyak digunakan sebagai analisa redaman pada struktur pesawat (Cole, 1973) dan studi mengenai karakterisasi tanah (Aggour et al., 1982). Parameter utama yang dihasilkan dengan menggunakan metode ini yaitu

damping ratio (ξ) dan frekuensi. Tujuan utama dari metode RDM adalah mengeliminasi komponen acak untuk mendapatkan komponen deterministik dan kurva getaran bebas sehingga didapatkan nilai redaman dan frekuensi.

Menurut Cole (1973) suatu respon dinamik dari suatu sistem terdiri dari dua bagian, yakni komponen deterministik yang terdiri dari berbagai jenis gelombang dan komponen acak. Persamaan matematis dari respon suatu sistem dapat ditulis,

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_n + \omega_n^2 x = \frac{F(t)}{m} \quad (2.2)$$

Sisi sebelah kanan dapat diartikan sebagai percepatan yang tergantung pada gaya yang dikenai pada sistem tersebut. Didefinisikan $h(t)$ sebagai fungsi respon perpindahan pada keadaan $t = 0$, maka keadaan batas yang diberikan

$$\begin{aligned} h(t) &= 0 && \text{untuk } t < 0 \\ h(t) &= \frac{1}{\omega_d} e^{-\xi\omega_n t} \sin \omega_d t && \text{untuk } t \geq 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Respon perpindahan bisa dituliskan sebagaimana berikut,

$$x(t) = (v_0 + 2\xi\omega_n x_0)h(t) + x_0 h(t) + \int_0^t A(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (2.4)$$

dengan v_0 dan x_0 adalah kecepatan dan perpindahan awal pada $t = 0$, dan $h(t) = (dh(t)/dt)$.

Untuk mendeskripsikan tiap komponen acak pada persamaan (2.11), didefinisikan t_{m0} sebagai waktu awal pada segmen ke- m ($m = 1, 2, 3, \dots, M$), sehingga

$$x_{m0} = x(t)|_{t=t_{m0}} \text{ dan } v_{m0} = \left. \frac{dx(t)}{dt} \right|_{t=t_{m0}} \quad (2.5)$$

Fungsi respons t pada segmen ke- m dapat ditulis sebagai berikut:

$$x_m(t) = (v_{m0} + 2\omega_n x_{m0})h(t-t_{m0}) + x_{m0}h(t-t_{m0}) + \int_0^t A(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (2.6)$$

Dengan variabel independen baru $t_m = t - t_{m0}$ untuk tiap segmen, sehingga tiap segmen pada variabel independen baru dimulai saat $t_m = 0$. Kemudian persamaan (2.13) dapat ditulis menjadi

$$x_m(t) = (v_{m0} + 2\omega_n x_{m0})h(t_m) + x_{m0}h(t_m) + \int_0^t A(\tau + t_{m0})h(t_m - \tau)d\tau \quad (2.7)$$

Sebagaimana diketahui bahwa t_m bernilai 0 pada tiap komponen- m , maka variabel independen t_s dapat digunakan pada setiap t_m , sebagaimana pada persamaan berikut:

$$x_m(t) = (v_{m0} + 2\omega_n x_{m0})h(t_s) + x_{m0}h(t_s) + \int_0^t A(\tau + t_{m0})h(t_s - \tau)d\tau \quad (2.8)$$

Dalam hal ini variabel t_s bernilai konstan untuk tiap eksitasi acak yang terdiri dari rata-rata tiap M-segmen,

$$x_M(t_s) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m(t_s) \quad (2.9)$$

$$x_M(t_s) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (v_{m0} + 2\omega_n x_{m0})h(t_s) + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_{m0}h(t_s) + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \int_0^{t_s} A(\tau + t_{m0})h(t_s - \tau)d\tau \quad (2.10)$$

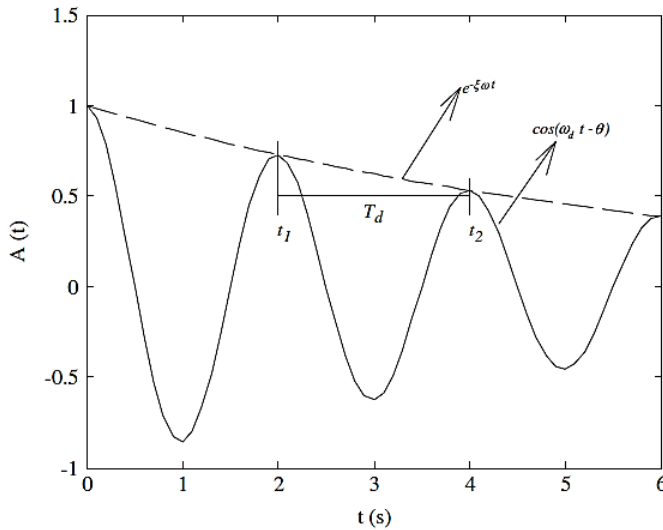
Setelah masing-masing komponen dikelompokkan, didapatkan:

$$x_M(t_s) = h(t_s) \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M v_{m0} \right] + 2\omega_n h(t_s) \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_{m0} \right] + h(t_s) \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_{m0} \right] + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \int_0^{t_s} A(\tau + t_{m0})h(t_s - \tau)d\tau \quad (2.11)$$

Dengan memisalkan $\bar{x}_0 = (1/M) \sum_{m=1}^M x_{m0}$ dan $\bar{v}_0 = (1/M) \sum_{m=1}^M v_{m0}$, maka Persamaan (2.18) dapat ditulis kembali menjadi

$$x_M(t_s) = h(t_s) \bar{v}_0 + 2\omega_n h(t_s) \bar{x}_0 + h(t_s) \bar{x}_0 + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \int_0^{t_s} A(\tau + t_{m0}) h(t_s - \tau) d\tau \quad (2.12)$$

Ketiga persamaan awal di sisi kanan persamaan (2.19) tidak bergantung pada gaya awal yang diberikan pada sistem namun bergantung pada kondisi awal yang diberikan melalui metode *triggering*.



Gambar 2. 8 Representasi kurva getaran bebas dalam keadaan teredam (Fernández-Heredia et al., 2012)

Respon rata-rata dari tiap segmen merupakan penjumlahan dari dua keadaan independen yang dapat dirumuskan:

$$x_M = S_M(t_s) + N_M(t_s) \quad (2.13)$$

$$S_M(t_s) = h(t_s)\bar{v}_0 + 2\omega_n h(t_s)\bar{x}_0 + ht_s\bar{x}_0 \quad (2.14)$$

$$N_M(t_s) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \int_0^{t_s} A(\tau + t_{m0}) h(t_s - \tau) d\tau \quad (2.15)$$

Persamaan (2.21) merupakan respon terhadap keadaan awal dan Persamaan (2.22) merupakan respon terhadap gaya yang diberikan pada sistem yang dapat disebut sebagai *noise*.

Penjabaran matematis yang telah dijabarkan diatas menjelaskan tentang karakteristik suatu sistem dalam keadaan teredam pada suatu grafik getaran bebas sebagaimana digambarkan pada Gambar 2.9.

Solusi dari sistem getaran teredam dapat ditulis sebagaimana berikut:

$$A = e^{-\xi\omega t} \cos(\omega_d t - \theta) \quad (2.16)$$

dengan $\omega_d = \omega\sqrt{1-\xi^2}$, serta ω dan ω_d adalah frekuensi natural anguler dan frekuensi anguler teredam. Besarnya nilai redaman dapat diestimasi dengan mempertimbangkan rasio amplitudo maksimum dua gelombang awal, rasio nilai absolut titik tengah pada gelombang pertama dan gelombang kedua, rasio rata-rata antara nilai amplitudo absolut pada tiap separuh gelombang, dan *fit slope* yang didapatkan setelah mendapatkan nilai amplitudo absolut dari tiap separuh gelombang (Fernández-Heredia et al., 2012). Estimasi parameter mekanik ini dapat dilakukan melalui proses inversi.

2.6 Fast Fourier Transform

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan pengembangan dari *Fourier Transform* (FT) yang ditemukan pada tahun 1965. FT ditemukan oleh J. Fourier pada tahun 1822 melalui prinsip

membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks.

Metode FFT merupakan metode yang sangat efisien untuk menghitung koefisien dari fourier diskrit ke suatu finite sekuen dari data yang kompleks. Karena substansi waktu yang tersimpan lebih banyak dibandingkan dengan metode konvensional. Dalam aplikasi pada pemrosesan gelombang, metode FFT digunakan untuk mendekomposisi gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan frekuensi yang berbeda-beda. Gelombang ini didapatkan melalui penjumlahan beberapa gelombang sinusoidal dengan frekuensi tunggal. Penjumlahan gelombang sinusoidal tersebut merupakan deret fourier. Deret fourier dapat dituliskan dalam bentuk matematis sebagaimana berikut:

$$X(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} x(t) e^{\frac{2j\omega t}{N}} \quad (2.17)$$

dengan $X(\omega)$ adalah fungsi dengan domain frekuensi dengan frekuensi radial antara $0 - 2\pi f$ atau sebagaimana yang kita ketahui bahwa $\omega = 2\pi f$.

2.7 Hubungan Indeks Kerentanan Seismik (K_g) dan *Shear Strain* (γ)

Indeks kerentanan seismik merupakan parameter yang menggambarkan tingkat kerentanan permukaan tanah terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi. Nilai dari indeks kerentanan seismik biasanya digunakan untuk mengestimasi wilayah-wilayah yang mengalami kerusakan apabila terjadi gempa bumi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nakamura (2000), nilai indeks kerentanan seismik dapat diketahui dengan menggunakan parameter yang didapatkan dari pengolahan dengan metode HVSR yang dirumuskan sebagaimana berikut:

$$K_g = \frac{A^2}{f_0} \quad (2.18)$$

dengan K_g adalah indeks kerentanan seismik, A adalah amplifikasi, dan f_0 adalah frekuensi natural.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Febriani *et al.* (2014) yang menganalisa tingkat kerentanan seismik di Kota Bengkulu dan Susilanto *et al.* (2016) di Kota Padang, wilayah dengan nilai indeks kerentanan seismik sedang hingga tinggi berpotensi mengalami kerusakan parah. Hal tersebut disebabkan karena semakin besar nilai indeks kerentanan seismik suatu wilayah maka tingkat kestabilan tanah pada wilayah tersebut semakin kecil, akibatnya ketika wilayah tersebut terkena getaran dari gempa bumi besar kemungkinan kerusakan yang ditimbulkan akan semakin parah.

Indeks kerentanan seismik erat hubungannya dengan nilai *shear strain* (γ). Fenomena yang ditimbulkan oleh gempa bumi dapat diketahui melalui besarnya nilai *shear strain* sebagaimana disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Hubungan besar nilai *shear strain* terhadap fenomena yang ditimbulkan oleh gempa bumi (Nakamura, 1997)

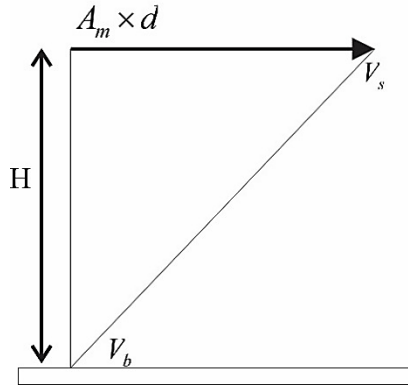
Nilai <i>Shear Strain</i> γ	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, Getaran		Retak, Penurunan tanah		Tanah longsor, Penurunan tanah, Likuifaksi	
Sifat Dinamis	Elastis		Plastis elastis		Keruntuhan	
					Efek ulangan, efek kelajuan dari pemuatan	

Perolehan nilai *shear strain* diilustrasikan melalui Gambar 2.10 sebagai contoh dari kasus deformasi *shear strain* pada permukaan tanah. Melalui ilustrasi tersebut dapat diketahui perumusan dari nilai *shear strain* sebagaimana berikut,

$$\gamma = A_g \times d / H \quad (2.19)$$

dengan A_g adalah faktor amplifikasi, H adalah ketebalan sedimen, dan d adalah nilai *seismic displacement* dasar bumi. Apabila kecepatan gelombang S pada *basement* dan kecepatan gelombang pada permukaan tanah dimisalkan sebagai V_b dan V_s , maka pengaruh dari frekuensi dominan dari permukaan tanah dapat dirumuskan:

$$F_g = V_b / (4A_g \times H) \quad (2.20)$$



Gambar 2.9 Surface Ground Strain

Nilai percepatan *basement* dapat dirumuskan,

$$\alpha_b = (2\pi F_g)^2 \times d \quad (2.21)$$

dan besarnya nilai *shear strain*,

$$\begin{aligned} \gamma &= \left((A_g \times \alpha_b) / (2\pi F_g)^2 \right) / (4A_g \times F_g / V_b) \\ &= (A_g^2 / F_g) \times (\alpha_b / (\pi^2 V_b)) \end{aligned} \quad (2.22)$$

apabila efisiensi dari gaya seismik diasumsikan e% dari gaya statis, maka efektif *shear strain* γ_e dapat dirumuskan,

$$\gamma_e = K_g(e) \times \alpha_b \quad (2.23)$$

Nilai K_g dipertimbangkan sebagai suatu nilai untuk mengidentifikasi titik lemah deformasi pada titik pengukuran yang sangat berguna untuk mendeteksi titik lemah dari suatu tanah.

2.8 Percepatan Getaran Tanah

Percepatan ialah parameter yang menunjukkan suatu perubahan kecepatan mulai dari suatu benda dalam keadaan diam hingga benda tersebut bergerak dengan kecepatan tertentu. Sementara percepatan getaran tanah maksimum ialah nilai percepatan tanah paling besar di suatu wilayah yang disebabkan oleh gelombang gempabumi (Febriani et al., 2014). Percepatan getaran tanah maksimum atau yang juga biasa disebut *Peak Ground Acceleration* (PGA) dapat dihitung dengan menggunakan parameter magnitude gempa, jarak titik perhitungan terhadap sumber gempa, serta nilai periode dominan pada suatu wilayah (Edwiza and Novita, 2008).

Untuk menghitung nilai PGA biasanya menggunakan metode Kanai yang menggabungkan parameter gempabumi serta karakteristik tanah pada suatu wilayah. Formula dari metode Kanai dapat dituliskan sebagaimana berikut.

$$\alpha_g = G(T) \alpha_0 \quad (2.24)$$

dengan

$$G(T) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{\sqrt{T_0}} \frac{T}{T_0}\right)^2}} \quad (2.25)$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{T} 10^{(0.61M) - \left(1.66 + \frac{3.66}{R}\right) \log R + 0.167 \left(\frac{1.82}{R}\right)} \quad (2.26)$$

Persamaan (2.34) dapat disederhanakan sebagaimana berikut:

$$\alpha_g = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{(0.61M) - \left(1.66 + \frac{3.66}{R}\right) \log R + 0.167 \left(\frac{1.83}{R}\right)} \quad (2.27)$$

dengan α_g merupakan percepatan tanah pada titik yang diukur (gal), $G(T)$ faktor perbesaran, α_0 percepatan tanah pada batuan dasar (gal), T periode gelombang gempa (s), T_0 periode dominan pada titik pengukuran (s), M magnitudo gempabumi (Richter), dan R jarak hiposentar (km) (Edwiza and Novita, 2008). Refrizon et al. (2013) menyatakan variasi nilai PGA pada suatu wilayah dipengaruhi oleh ketebalan, kekerasan, serta kontras fisis antara lapisan penutup dan batuan dasar yang ada pada wilayah tersebut.

2.9 Gustafson-Kessel (GK) Clustering

Fuzzy C-Means Clustering merupakan metode pengelompokan data yang mana poin-poin data pada suatu *cluster* penentuannya didasarkan pada derajat keanggotaan. Pemilihan poin-poin data dilakukan secara berulang untuk mendapatkan keakuratan data berdasarkan pada derajat keanggotaan yang ada. Perulangan dilakukan berdasarkan pada minimalisasi fungsi obyektif yang merepresentasikan jarak dari poin data ke poin yang terdapat di pusat *cluster* yang telah terbobot oleh derajat keanggotaan.

Gustafson-Kessel Clustering merupakan salah satu variasi dari metode *Fuzzy C-Means Clustering* dimana metode tersebut sering diterapkan untuk mengolah suatu data yang tidak lengkap. Pengaplikasian metode *Gustafson-Kessel Clustering* salah satunya digunakan untuk zonasi otomatis yang diterapkan berdasarkan data parameter HVSr dari hasil pengukuran mikrotremor di Kota Surabaya (Utama et al., 2011). Bentuk algoritma dari *Gustafson-Kessel Clustering* sebagaimana berikut,

$$J(X; U, V, \{A_i\}) = \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w D_{ikA_i}^2 \quad (2.28)$$

dengan

$$D_{ikA_i}^2 = (Z_k - V_i)^T A_i (Z_k - V_i) \quad (2.29)$$

Dengan X adalah data yang dikelompokkan, U adalah matriks partisi awal dengan nilai acak, V adalah matriks pusat kelompok dan A_i adalah jarak kelompok.

Adapun langkah-langkah dalam menggunakan metode *Gustafson-Kessel Clustering* sebagaimana berikut (Ahmad Mauliyadi et al., 2013):

1. Menentukan data yang dikelompokkan dengan bentuk matriks X berukuran $n \times m$ dimana n adalah jumlah yang dikelompokkan dan m adalah atribut setiap data.
2. Menentukan jumlah kelompok yang akan dibentuk, pangkat atau pembobot $w = 2$, maksimum iterasi, kriteria penghentian terkecil, dan iterasi awal.
3. Membentuk matriks partisi awal U dengan membangkitkan nilai acak μ_{ik} , $i = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, c$; sebagai elemen-elemen matriks partisi awal U sebagaimana berikut:

$$U \begin{bmatrix} \mu_{11}(x_1) & \cdots & \mu_{1n}(x_n) \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \mu_{c1}(x_1) & \cdots & \mu_{cn}(x_n) \end{bmatrix}$$

4. Menghitung pusat kelompok v_i , untuk v setiap kelompok sebagaimana berikut

$$V_k = \frac{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^w X_k}{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (2.30)$$

5. Menghitung kovarian matriks pengelompokan (F_i) dengan rumus

$$F_i = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w (z_k - v_i)(z_k - v_i)^T}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (2.31)$$

6. Menghitung jarak

$$D_{ikA_i}^2 = (x_{jk} - C_{pk})^T A_i (x_k - V_i) \quad (2.32)$$

dimana,

$$A_i = \rho_i \det(F_i)^{1/n} F_i^{-1} \quad (2.33)$$

7. Memperbaiki derajat keanggotaan tiap data pada setiap kelompok

$$\mu_{ik} = \left[\sum_{k=1}^c \left(\frac{D_{ikA_i}}{D_{jkA_i}} \right)^{2/(w-1)} \right]^{-1} \quad (2.34)$$

8. Menentukan kriteria pemberhentian

Jika $\|U^l - U^{l+1}\| < \varepsilon$ atau $t > \text{MaxIter}$ maka dihentikan, namun apabila tidak maka elemen dinaikkan iterasi $t = t+1$ dan kembali ke langkah 4

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

3.3 Tahap Penelitian

Tahapan penelitian tugas akhir yang dapat diuraikan sebagaimana berikut:

1) Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan materi-materi yang mendukung penelitian yakni tentang: mikrotremor, metode HVSR, frekuensi natural, amplifikasi, rasio redaman, indeks kerentanan seismik, percepatan getaran tanah, metode *GK Clustering*, dan susunan struktur geologi daerah penelitian.

2) Pengolahan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini ialah data sekunder hasil pengukuran mikrotremor di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah dan juga data gempa yang diunduh dari USGS yakni data gempa Yogyakarta 2006 dengan magnitude permukaan sebesar 6,3 SR yang pusat gempanya berada pada koordinat $7,962^0$ LS – $110,458^0$ BT di kedalaman 12,5 km.

• Pengolahan Data HVSR

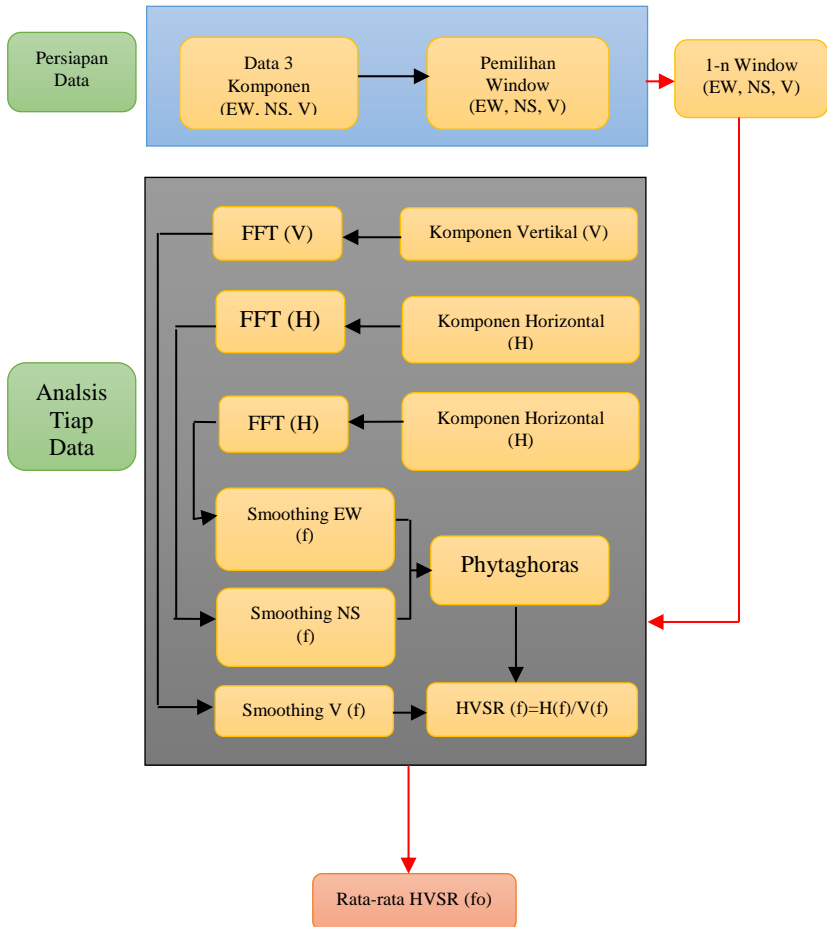
Data hasil pengukuran mikrotremor dengan format .CDM diolah dengan menggunakan *software* Geopsy. Selanjutnya, setelah data di *input* dilakukan analisa *noise*. Sesuai dengan anjuran SESAME (2004) dalam melakukan analisa *noise* dibutuhkan minimal 10 *window*. Kemudian dari hasil *windowing* dilakukan plot HVSR. Tahapan analisa HVSR sebagaimana pada Gambar 3.2.

a. Fast Fourier Transform (FFT)

FFT digunakan untuk merubah domain waktu ke domain frekuensi. Dalam analisa HVSR pada penelitian ini digunakan minimal 10 *window* stasioner antara 5 – 25 detik dengan *overlapping* sebesar 5%. Algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan dalam analisis spektrum *Fourier* karena data awal akuisisi berbentuk diskrit.

$$X(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} x(t) e^{\frac{2j\omega t}{N}} \quad (3.1)$$

Dimana $X(\omega)$ adalah fungsi dengan domain frekuensi dengan frekuensi radial antara $0 - 2\pi f$ atau sebagaimana yang kita ketahui bahwa $\omega = 2\pi f$.



Gambar 3.2 Diagram alir analisa kurva HVSR

- b. Hasil dari proses FFT masih berupa komponen yang belum diperhalus, maka dibutuhkan filter *smoothing* Konno and Ohmachi (1998) dengan koefisien *bandwidth* sebesar 40 dan *cosine taper* 5%. Berikut ini merupakan persamaan analitik Konno dan Ohmachi secara umum:

$$W_p(f) = \frac{\sin \left[\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_0} \right) \right)^b \right]}{\left[\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_0} \right) \right)^b \right]^4} \quad (3.2)$$

Dimana $W_p(f)$ adalah fungsi pembobotan, f adalah frekuensi, f_0 adalah frekuensi pusat yang dihaluskan, dan B adalah koefisien *bandwidth*.

- c. Penggabungan komponen horizontal dan vertikal
Setelah melalui proses FFT dan *smoothing* selanjutnya dilakukan penggabungan komponen horizontal dan vertikal dalam sebuah kurva. Nakamura (2000) menggunakan analisa HVSR berupa *spectral ratio amplitude* spektrum *Fourier* berdasarkan persamaan berikut:

$$R(t) = \left[\frac{\sqrt{F_{NS}(T)^2 + F_{EW}(T)^2}}{F_z(T)} \right] \quad (3.3)$$

Dimana $R(t)$ adalah spektrum rasio vertikal terhadap horizontal, F_{NS} adalah spektrum *fourier* komponen NS, F_{EW} adalah spektrum *fourier* komponen EW, dan F_z adalah spektrum *fourier* komponen Z (vertikal).

- d. Rata-rata HVSR

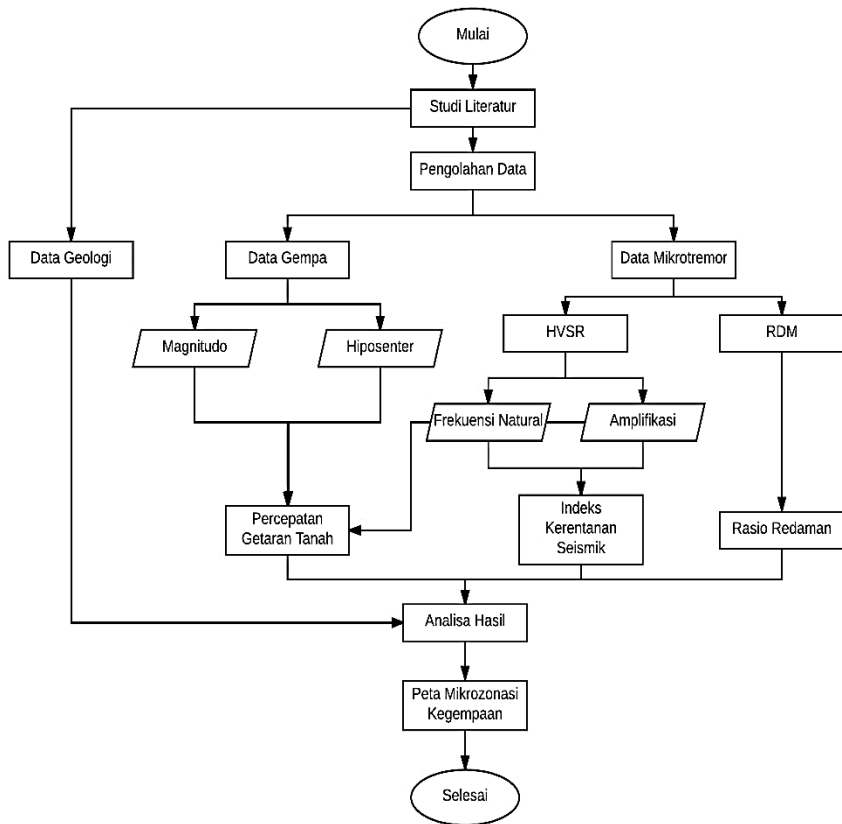
Dilakukan plot rata-rata HVSR untuk tiap titik pengukuran setelah didapatkan spektrum HVSR untuk masing-masing *windows*. Nilai rata-rata HVSR digunakan untuk mencari nilai frekuensi natural dan amplifikasi.

- e. Standar Deviasi
Pada kurva HVSR terdapat standar deviasi minimum dan standar deviasi maksimum. Standar deviasi digunakan untuk mengetahui besar simpangan dari hasil analisa HVSR.
- f. Indeks Kerentanan Seismik (K_g)
Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah terhadap deformasi ketika terjadi gempa bumi. Indeks kerentanan dapat diperoleh dari nilai amplifikasi dan frekuensi natural sebagaimana pada Persamaan 2.18.
- g. Percepatan Getaran Tanah
Metode Kanai merupakan salah satu metode untuk menghitung besarnya nilai percepatan getaran tanah. Untuk melakukan perhitungan diperlukan data gempa berupa magnitude serta koordinat hiposenter gempa serta periode dominan sebagaimana yang tertera pada Persamaan 2.27.
- Pengolahan Data RDM
Random Decrement Method (RDM) merupakan suatu metode dalam melakukan analisa mikrotremor yang digunakan untuk menghitung rasio redaman sebagai karakteristik dinamika tanah dengan menerapkan *band pass filtering* pada data mikrotremor.

3) Peta Mikrozonasi Kegempaan

Analisa yang dilakukan dengan mengamati hubungan antara frekuensi natural, amplifikasi, indeks kerentanan seismik, nilai percepatan getaran tanah, serta rasio redaman dari hasil pengolahan data mikrotremor yang kemudian akan dikorelasikan dengan data geologi setempat untuk mengestimasi keadaan yang sebenarnya. Dari hasil pengolahan data mikrotremor, dibuatlah peta mikrozonasi kegempaan Kabupaten Klaten, Jawa Tengah dengan menggunakan metode *GK clustering*. Penggunaan metode *GK Clustering* dilakukan agar mampu digunakan untuk mengintegrasikan beberapa

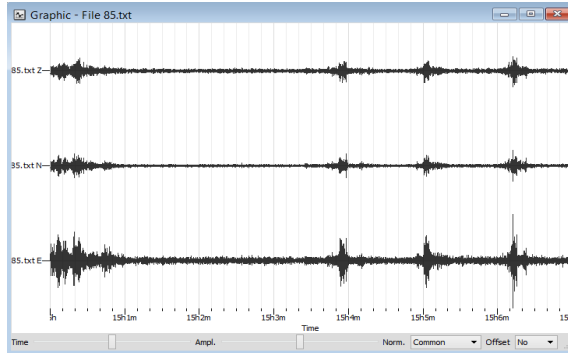
parameter menjadi “satu parameter”, yakni pusat dari *clustering*.



Gambar 3.3 Diagram alur penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

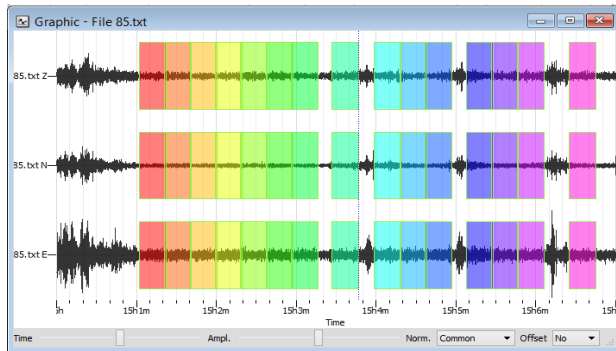
4.1 Analisa HVSR dan analisa RDM



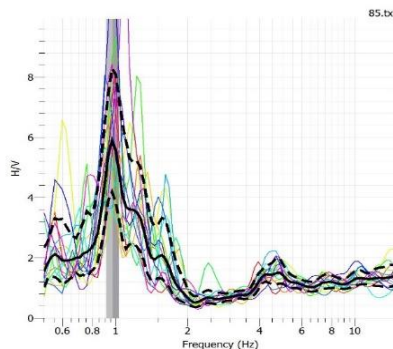
Gambar 4. 1 Data hasil pengukuran pada titik 85

Data perekaman mikrotremor yang digunakan berupa data seismogram tiga komponen sebagaimana bisa diamati pada Gambar 4.1. Gambar 4.1 merupakan data awal pada titik pengukuran 85 yang dianalisa lebih lanjut menggunakan *software* Geopsy. Sensor percepatan tiga komponen yang terdapat pada Gambar 4.1 secara berurutan merupakan komponen vertikal (Z), komponen horizontal NS (*North-South*), dan komponen horizontal EW (*East-West*). Data tersebut merupakan hasil pengukuran selama 7 menit.

Selanjutnya dilakukan pemilihan *windows* sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dalam proses *windowing* sinyal yang dipilih harus stasioner atau konstan. Pada titik 85 jumlah *windows* yang didapatkan sebanyak 15 *windows*.

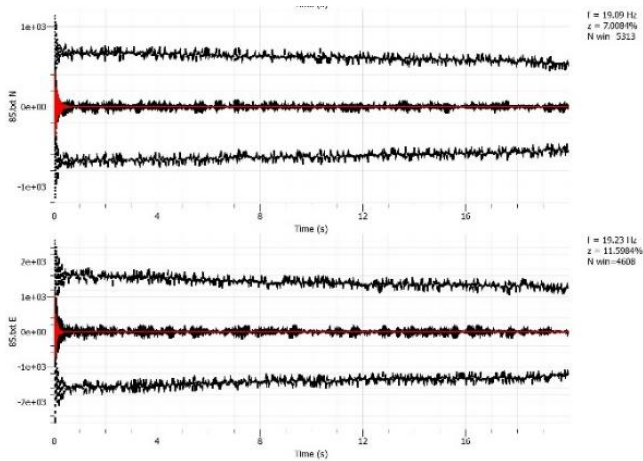
Gambar 4. 2 Pemilihan *window* pada titik 85

Selanjutnya dilakukan analisa spektrum H/V dimana *output* yang diperoleh ialah kurva HVSR (Gambar 4.3). Dalam proses analisa spektrum H/V digunakan fungsi *cosines* 5% dengan koreksi *smoothing* Konno dan Ohmachi (1998) dengan *bandwidth* 40. Selain kurva HVSR, pengolahan ini juga menghasilkan nilai frekuensi natural dan amplifikasi. Nilai frekuensi natural diperoleh dari rata-rata frekuensi natural masing-masing spektrum vertikal dan horizontal. Nilai frekuensi natural dari titik 85 yang diperoleh dari pengolahan ini sebesar 0,97083 Hz, sementara nilai amplifikasi yang didapatkan sebesar 5,79487.



Gambar 4. 3 Kurva HVSR titik 85

Selain analisa menggunakan HVSR, dilakukan pula analisa RDM untuk mendapatkan besarnya rasio redaman. Dalam proses analisa RDM digunakan *band pass filter* dengan rentang frekuensi 0.5 Hz – 20 Hz. Hasil pengolahan menghasilkan frekuensi (f) dan rasio redaman (z) di tiap komponen sebagaimana tertera pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik hasil pengolahan RDM titik 85

Gambar 4.4 merupakan nilai rasio redaman komponen *East-West* (EW) dan *North-South* (NS). Pada titik 85 didapatkan nilai tiap-tiap komponen sebesar 11,594% dan 7,0084%. Pada penelitian ini rasio redaman yang digunakan ialah nilai rata-rata yang berasal dari komponen EW dan komponen NS karena efek nilai rasio maksimum antar getaran pada komponen horizontal dan komponen vertikal bernilai sama.

Lima parameter yang digunakan pada penelitian berasal dari proses pengolahan serta perhitungan yakni diantaranya frekuensi natural, amplifikasi, indeks kerentanan seismik (K_g), percepatan getaran tanah, dan rasio redaman. Berdasarkan parameter-parameter tersebut maka dibuatlah tiga buah peta mikrozonasi dengan menerapkan metode *Gustafson-Kessel* (GK) *Clustering*.

Pembagian zonasi tingkat bahaya gempabumi di wilayah penelitian di klasifikasikan menjadi 6 kelas sebagaimana yang tertera pada Tabel 4.1. Pembagian kelas dibentuk berdasarkan pengaruh bahaya (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*) di wilayah penelitian.

Tabel 4.1 Pembagian kelas berdasarkan metode *GK Clustering*

Cluster	Pengelompokan
1	Sangat Bahaya
2	Bahaya
3	Awas
4	Waspada
5	Aman
6	Sangat Aman

Pengolahan dengan menggunakan metode *GK Clustering* terbagi menjadi 3 tahap pengerjaan. Tahap pertama menggunakan *input* parameter frekuensi natural, amplifikasi, dan percepatan getaran tanah yang hasilnya disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengolahan dengan metode *GK Clustering* dengan parameter *input* frekuensi natural, amplifikasi, dan percepatan getaran tanah

Cluster	Frekuensi (Hz)	Amplifikasi	Percepatan Getaran Tanah (gal)	Pengelompokan
1	1.199417	3.567171819	53.66208158	Sangat Bahaya
2	1.781603	3.518056312	70.36541993	Bahaya
3	0.817121	2.934675234	39.12549068	Awas
4	5.744662	3.691983948	104.6669787	Waspada
5	8.906631	3.015567105	144.1264249	Aman
6	10.93451	4.182133488	178.2009646	Sangat Aman

Tahap pengerjaan kedua menggunakan parameter *input* indeks kerentanan tanah (*Kg*) dan PGA sebagaimana yang tersaji pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengolahan dengan metode *GK Clustering* dengan parameter *input* indeks kerentanan seismik (*Kg*) dan percepatan getaran tanah

Cluster	Kg	Percepatan Getaran Tanah (gal)	Pengelompokan
1	32.41584	49.21018	Sangat Bahaya
2	8.187008	42.10343	Bahaya
3	7.031206	66.50376	Awas
4	3.60214	101.5317	Waspada
5	2.090541	177.5809	Aman
6	1.380995	143.1454	Sangat Aman

Dan tahap pengerjaan ketiga menggunakan parameter parameter *input* indeks kerentanan seismik (*Kg*), percepatan getaran tanah, dan rasio redaman sebagaimana yang tersaji pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil pengolahan dengan metode *GK Clustering* dengan parameter *input* indeks kerentanan seismik (*Kg*), percepatan getaran tanah, dan rasio redaman

Cluster	Kg	Percepatan Getaran Tanah (gal)	Rasio Redaman (%)	Pengelompokan
1	26.82447	50.71447	17.3236363	Sangat Bahaya
2	11.43709	54.09721	56.18862672	Bahaya
3	8.056235	43.41933	16.25645843	Awas
4	6.384296	69.76623	17.99781527	Waspada
5	2.433177	118.2771	17.35376674	Aman
6	1.805591	167.8391	18.63726743	Sangat Aman

Parameter frekuensi natural dan amplifikasi menggambarkan efek lokal dari suatu wilayah, parameter PGA menggambarkan percepatan batuan dasar (*bedrock*) dan karakteristik gempabumi,

sementara parameter rasio redaman menggambarkan banyaknya energi gelombang gempabumi yang terserap. Hasil pengelompokan dengan menggunakan *GK Clustering* memiliki kelinieran dengan jumlah kerusakan bangunan akibat gempabumi Yogyakarta tahun 2006 di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah.

4.2 Pembahasan

Mikrozonasi merupakan suatu langkah untuk mengidentifikasi dan memetakan area yang memiliki potensi kerusakan akibat adanya efek gempabumi. Pada penelitian ini digunakan metode *GK Clustering* untuk membagi Kabupaten Klaten, Jawa Tengah menjadi beberapa zona berdasarkan analisa HVSr, RDM, dan PGA dari hasil pengukuran mikrotremor di 411 titik pengukuran. *GK Clustering* merupakan salah satu variasi dari metode *Fuzzy C-Means Clustering*. Pada umumnya permasalahan yang ditemui dalam melakukan mikrozonasi ialah pengoptimalan partisi, dengan menggunakan konsep pengelompokan diharapkan dapat menghasilkan partisi yang optimal.

Penelitian ini menghasilkan 3 buah peta mikrozonasi bersifat kualitatif berdasarkan pada hasil pengelompokan parameter frekuensi natural, amplifikasi, indeks kerentanan seismik (K_g), PGA, serta rasio redaman. Gambar 4.6 merupakan peta mikrozonasi pertama yang dihasilkan berdasarkan pada hasil pengelompokan parameter frekuensi natural, amplifikasi, dan PGA.

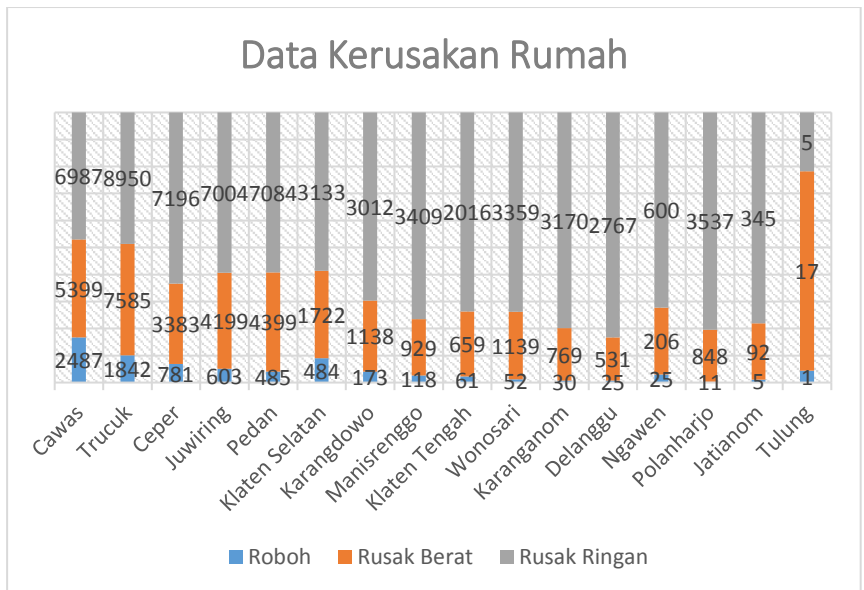
Gambar 4.6 menunjukkan bahwa wilayah pengukuran yang masuk pada zona sangat bahaya dan zona bahaya meliputi Kecamatan Cawas, Kecamatan Trucuk, Kecamatan Karangdowo, Kecamatan Pedan, Kecamatan Kalikotes, Kecamatan Klaten Utara, Kecamatan Klaten Tengah, Kecamatan Ceper, dan Kecamatan Klaten Selatan. Nilai frekuensi natural merupakan efek gabungan antara parameter kecepatan gelombang geser (V_s) dan kedalaman *bedrock*. Dengan frekuensi natural berbanding lurus dengan rata-rata V_s dan berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan (h). Rendahnya nilai frekuensi natural suatu wilayah mengindikasikan

bahwa wilayah tersebut tersusun dari lapisan tanah yang lunak dan memiliki *bedrock* yang dalam. Kondisi tersebut dinilai sangat rawan terjadi multirefleksi gelombang badan atau terjebaknya gelombang badan pada sedimen.

Faktor penguatan gelombang yang menjalar pada sedimen atau yang biasa disebut amplifikasi terjadi ketika gelombang gempabumi merambat ke permukaan dan menggetarkan benda-benda yang ada diatas permukaan tanah. Amplifikasi sendiri dipengaruhi oleh nilai kecepatan gelombang geser Vs, kontras densitas sedimen dan *bedrock* yang signifikan (Sungkono, 2011). Sementara menurut Towhata (2008) amplifikasi disebabkan oleh empat hal, yakni adanya lapisan lapuk yang terlalu tebal diatas lapisan keras, adanya frekuensi natural yang rendah, dan geologi setempat yang memiliki energi gempa yang terjebak di lapisan lapuk dalam waktu yang lama. Menurut Nakamura (2000) parameter amplifikasi yang merusak bangunan bernilai lebih dari 3 dan berkorelasi dengan frekuensi rendah. Sebagaimana dapat kita amati pada Tabel 4.2 zona sangat bahaya dan zona bahaya memiliki nilai frekuensi natural yang rendah dan nilai amplifikasi tinggi yang bernilai lebih dari 3. Zona sangat bahaya memiliki nilai frekuensi natural sebesar 1,19947 Hz dengan nilai amplifikasi sebesar 3,567171819, sementara zona bahaya memiliki nilai frekuensi natural sebesar 1,781603 Hz dengan nilai amplifikasi sebesar 3,518056312. Zona sangat bahaya dan zona bahaya tersebar dari bagian timur hingga bagian tengah wilayah penelitian. Hasil pemetaan memiliki korelasi yang selaras dengan jumlah kerusakan bangunan yang tersaji pada Gambar 4.5, dimana wilayah zona sangat bahaya dan zona bahaya memiliki jumlah kerusakan yang sangat tinggi.

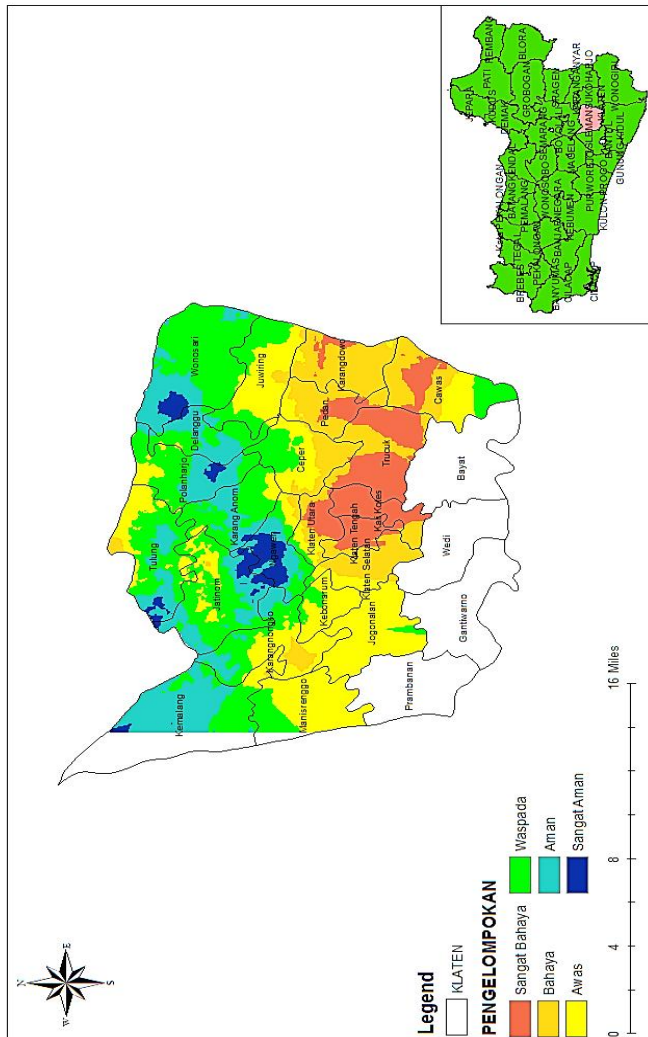
Parameter PGA merupakan nilai percepatan batuan dasar (*bedrock*) pada suatu wilayah saat terjadi gempabumi. Adanya variasi nilai PGA pada suatu wilayah dipengaruhi oleh ketebalan, kekerasan, serta kontras fisis antara lapisan penutup dan batuan dasar pada wilayah tersebut (Refrizon et al. 2013). Parameter PGA juga dipengaruhi oleh besarnya magnitudo gempabumi yang

terjadi serta jarak wilayah tersebut terhadap hiposenter gempa bumi. Pada umumnya semakin besar nilai PGA suatu wilayah menandakan bahwa wilayah tersebut berpotensi mengalami kerusakan yang tinggi. Namun hasil pengolahan yang tersaji pada Tabel 4.2 mengindikasikan hal yang berbeda, yang mana wilayah dengan nilai PGA kecil dimiliki oleh zona sangat bahaya hingga zona awas, sementara wilayah dengan nilai PGA besar dimiliki oleh zona waspada hingga zona sangat aman. Hal tersebut tidak selaras dengan jumlah kerusakan bangunan yang menimpa pada wilayah yang tergolong dalam zona sangat bahaya dan zona bahaya. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa banyaknya jumlah kerusakan rumah pada wilayah penelitian bukanlah disebabkan oleh faktor gempa bumi yang terjadi, melainkan disebabkan oleh efek lokal wilayah penelitian.

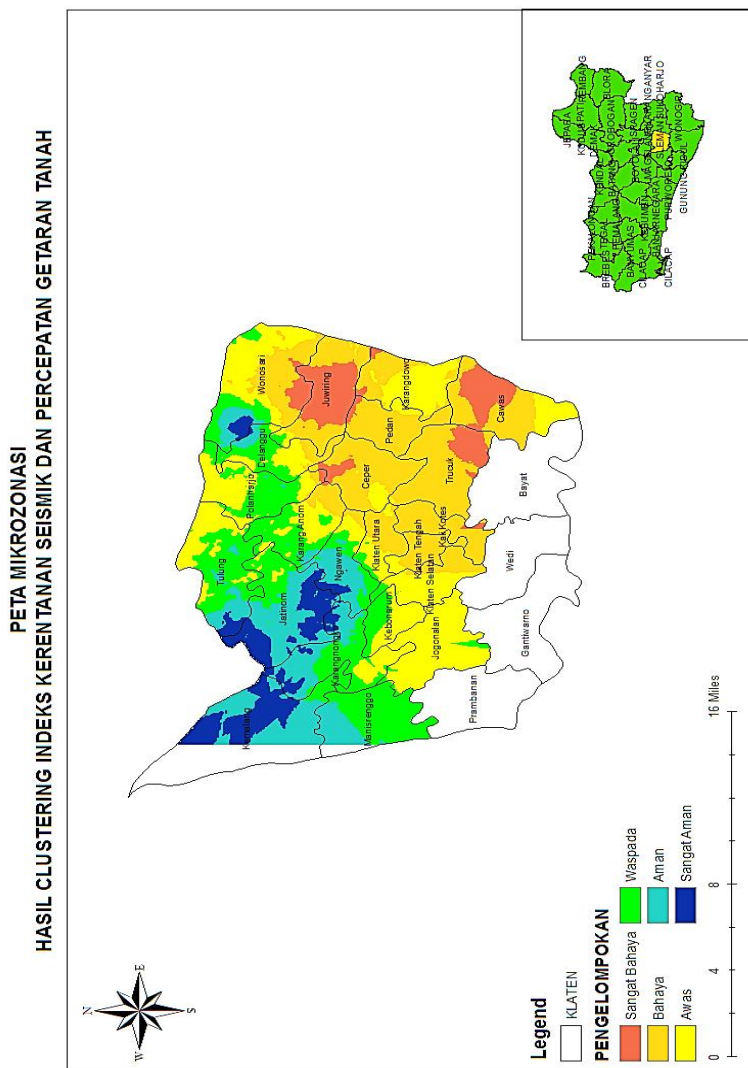


Gambar 4. 5 Data kerusakan rumah di wilayah penelitian akibat gempa bumi 27 Mei 2006 (Suharna, 2008)

PETA MIKROZONASI
HASIL CLUSTERING FREKUENSI NATURAL, AMPLIFIKASI, PGA



Gambar 4. 6 Peta mikrozonasi menggunakan algoritma *GK Clustering* dengan parameter frekuensi natural, amplifikasi, dan percepatan getaran tanah sebagai *input*



Gambar 4. 7 Peta mikrozonasi menggunakan algoritma *GK Clustering* dengan parameter indeks kerentanan seismik (K_g) dan percepatan getaran tanah sebagai *input*

Gambar 4.7 merupakan peta mikrozonasi kedua yang dihasilkan berdasarkan pada hasil *clustering* parameter indeks kerentanan seismik (K_g) dan percepatan getaran tanah. Gambar 4.7 memiliki beberapa kemiripan di sejumlah wilayah yang tergolong pada zona sangat bahaya dan zona bahaya di peta mikrozonasi yang pertama pada Gambar 4.6, yang mana wilayah tersebut meliputi Kecamatan Cawas, Kecamatan Trucuk, Kecamatan Ceper, Kecamatan Juwiring, Kecamatan Karangdowo, Kecamatan Pedan, Kecamatan Klaten Utara, Kecamatan Klaten Tengah, Kecamatan Klaten Selatan, dan Kecamatan Kalikotes. Parameter indeks kerentanan seismik (K_g) digunakan untuk mengidentifikasi suatu daerah yang rentan terhadap getaran tanah yang kuat. Indeks kerentanan seismik menghubungkan antara nilai frekuensi natural dan amplifikasi. Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) yang tinggi biasanya menunjukkan bahwa pada wilayah tersebut memiliki nilai frekuensi natural yang relatif rendah dan nilai amplifikasi yang relatif tinggi. Dengan kata lain semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik yang dimiliki suatu wilayah, maka wilayah tersebut memiliki tingkat resiko kerusakan yang tinggi.

Dalam mengestimasi nilai indeks kerentanan seismik (K_g) perlu diperhatikan juga besar nilai *shear strain* (γ) (Nguyen et al. 2009). Berdasarkan yang diutarakan oleh Nakamura (1997), apabila suatu lapisan tanah memiliki nilai *shear strain* $\gamma < 10^{-6}$ maka lapisan tersebut akan mengalami kondisi plastis. Dan apabila lapisan tanah tersebut memiliki nilai $\gamma > 10^{-6}$, maka pada wilayah tersebut akan rentan terjadi retakan, kompaksi, bahkan juga penurunan lapisan tanah atau yang biasa disebut likuifaksi. Biasanya zona dengan nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi akan berkorelasi dengan nilai *shear strain* yang tinggi pula. Berdasarkan korelasi antara hasil pemetaan dengan jumlah data kerusakan rumah yang tersaji pada Gambar 4.6 juga menunjukkan kesesuaian dimana kawasan dengan urutan jumlah kerusakan terbanyak yakni Kecamatan Cawas, Kecamatan Trucuk, Kecamatan Ceper, Kecamatan Juwiring, Kecamatan Pedan, Kecamatan Klaten

Selatan, dan Kecamatan Karangdowo berada pada zona sangat bahaya dan zona bahaya.

Gambar 4.8 merupakan peta mikrozonasi terakhir yang dihasilkan berdasarkan pada hasil *clustering* parameter indeks kerentanan seismik (K_g), percepatan getaran tanah, serta rasio redaman. Gambar 4.8 identik dengan pola peta mikrozonasi pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. Wilayah pengukuran yang termasuk zona sangat bahaya dan zona bahaya meliputi Kecamatan Cawas, Kecamatan Trucuk, Kecamatan Juwiring, Kecamatan Ceper, Kecamatan Karangdowo, Kecamatan Pedan, Kecamatan Klaten Utara, Kecamatan Klaten Tengah, dan Kecamatan Kalikotes. Nilai rasio redaman menunjukkan banyaknya energi dari gelombang gempabumi yang teredam yang mana semakin kecil nilai rasio redaman yang dimiliki suatu wilayah menandakan sedikitnya energi gelombang gempabumi yang teredam sehingga akan berdampak pada semakin besarnya amplifikasi pada wilayah tersebut dan mengakibatkan semakin tingginya tingkat resiko kerusakan yang ditimbulkan. Hal ini dapat dibuktikan berdasarkan hasil pusat tiap parameter di masing-masing *cluster* yang tersaji pada Tabel 4.4. Wilayah yang tergolong pada zona sangat bahaya memiliki nilai rasio redaman yang lebih kecil dibandingkan zona bahaya, namun nilai indeks kerentanan seismik yang dimiliki wilayah tersebut lebih besar. Hal tersebut mengindikasikan bahwa zona sangat bahaya memiliki tingkat resiko kerusakan yang lebih tinggi. Hasil korelasi antara hasil pemetaan dengan jumlah data kerusakan bangunan yang tersaji pada Gambar 4.5 menunjukkan kesesuaian yang sama dengan peta pada Gambar 4.8, yang mana kawasan dengan urutan jumlah kerusakan terbanyak yakni Kecamatan Cawas, Kecamatan Trucuk, Kecamatan Ceper, Kecamatan Juwiring, Kecamatan Pedan, Kecamatan Klaten Selatan, dan Kecamatan Karangdowo berada pada zona sangat bahaya dan zona bahaya.

Dari penjelasan yang telah dijabarkan diatas, wilayah penelitian di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah bagian timur dan tengah merupakan wilayah yang memiliki tingkat resiko kerusakan yang paling tinggi berdasarkan pada ketiga hasil pemetaan berbasis metode *GK Clustering*. Ketiga hasil pemetaan yang didapatkan menunjukkan wilayah yang termasuk zona sangat bahaya dengan nilai kerusakan bangunan tinggi yakni Kecamatan Cawas, Kecamatan Trucuk, Kecamatan Juwiring, dan Kecamatan Pedan didominasi oleh batuan alluvium, alluvium tua, malihan, diorite pendul, serta formasi batuan Gamping Wungkal. Batuan alluvium umumnya berupa lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal, dang berangkal. Batuan alluvium tua umumnya berupa konglomerat, batupasir, lanau, dan lempung. Batuan malihan umumnya berupa sekis, pualam, batuan gunungapi malih, sedimen malih, serta batu sabak. Sementara Formasi Batu Wungkal umumnya berupa batu pasir, napal pasiran, batu lempung, dan lensa batu gamping. Hal tersebut sesuai dengan pendapat yang dikemukakan oleh Nakamura (2000) bahwa beberapa kejadian gempabumi yang merusak di dunia berada pada daerah alluvial yang memiliki potensi kerusakan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah perbukitan. Selain karena dominasi batuan alluvium, wilayah-wilayah tersebut berada dekat dengan aliran Sungai Dengkeng seperti Kecamatan Cawas, Kecamatan Trucuk, dan Kecamatan Karangdowo. Kecamatan Pedan dan Kecamatan Ceper dekat dengan aliran Sungai Cepar, serta Kecamatan Juwiring berada dekat dengan aliran Sungai Bengawan Solo. Wilayah-wilayah yang dekat dengan aliran sungai pada umumnya memiliki susunan batuan yang berasal dari endapan material hasil erupsi Gunung Merapi dan hasil transportasi pelapukan batuan yang berumur tua. Hasil yang didapatkan dari penelitan ini linier dengan hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh Suharna (2008) dimana dalam penelitiannya menyatakan wilayah Kabupaten Klaten, Jawa Tengah bagian timur dan tengah memiliki nilai amplifikasi tinggi sehingga berdampak pada tingkat kerusakan yang tinggi pula.

Dengan begitu artinya *clustering* berbasis GK dapat digunakan sebagai dasar zonasi kegempaan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Nilai frekuensi natural Kabupaten Klaten, Jawa Tengah berkisar antara 0,569 Hz – 14,06 Hz. Sementara nilai amplifikasi yang didapatkan berkisar antara 0,0925 – 14,681.
2. Besarnya rasio redaman yang didapatkan berkisar antara 0,023% - 91,987%.
3. Besarnya percepatan getaran tanah yang didapatkan berkisar antara 29,356 gal – 228,952 gal. Sementara besarnya indeks kerentanan seismik yang didapatkan berkisar antara 0,0109 – 113,534.
4. Hasil mikrozonasi kegempaan berdasarkan metode *GK Clustering* menunjukkan bahwa wilayah penelitian di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah yang memiliki potensi tingkat kerusakan tinggi tersebar di bagian timur hingga tengah wilayah penelitian dan kerusakan diakibatkan oleh efek lokal wilayah penelitian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan dari tugas akhir ini, untuk penelitian kedepan penulis menyarankan adanya korelasi dengan data bor log untuk memastikan hasil dari pengukuran mikrotremor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aggour, M., JCS Yang, H Al-Sanad, 1982. A method of the random decrement technique in the determination of damping of soils. Proc Seventh Eur. Conf. Earthq. Eng.
- Ahmad Mauliyadi, M., Sofyan, H., Subianto, M., 2013. PERBANDINGAN METODE FUZZY C-MEANS (FCM) DAN FUZZY GUSTAFSON-KESSEL (FGK) MENGGUNAKAN DATA CITRA SATELIT QUICKBIRD.
- Asparini, D., 2011. Penerapan Metode Stacking Dalam Pemrosesan Sinyal Seismik Laut di Perairan Barat Aceh (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Asten, M.W., 1978. Geological Control on The Three-Component Spectra of Rayleigh-wave Microseisms. Bull. Seismol. Soc. Am. 68, 1623–1636.
- Asten, M.W., Henstridge, J.D., 1984. Array estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins. Geophysics 49, 1828–1837.
- Bonnefoy-Claudet, S., Cornou, C., Bard, P.-Y., Cotton, F., Moczo, P., Kristek, J., Fäh, D., 2006a. H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. Geophys. J. Int. 167, 827–837. doi:10.1111/j.1365-246X.2006.03154.x
- Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F., Bard, P.-Y., 2006b. The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies. Earth-Sci. Rev. 79, 205–227. doi:10.1016/j.earscirev.2006.07.004
- Bothe, A.C.D., 1929. Djiwo Hills and Southern Range. Forth Pacific Sci. Congr. Excursion Guide 14.
- BPS Klaten, 2010. Buku Putih Sanitasi Klaten. Badan Pusat Statistik Kabupaten Klaten.
- Castellaro, S., 2016. Soil and structure damping from single station measurements. Soil Dyn. Earthq. Eng. 90, 480–493. doi:10.1016/j.soildyn.2016.08.005

- Cole, H., 1973. On-line Failure Detection and Damping Measurement of Aerospace Structures by Random Decrement Signatures. Nielsen Engineering & Research Inc, Mountain View, California.
- Dal Moro, G., 2010. Some Thorny Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: an Overview. *Boll. Geofis. Teor. E Appl.*
- Edwiza, D., Novita, S., 2008. Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai. *J. Unand.*
- Febriani, Y., Daruwati, I., Hatika, R.G., 2014. ANALISIS NILAI PEAK GROUND ACCELERATION DAN INDEKS KERENTANAN SEISMIK BERDASARKAN DATA MIKROSEISMIK PADA DAERAH RAWAN GEMPABUMI DI KOTA BENGKULU. *J. Edu Res.* 2, 85–90.
- Fernández-Heredia, A.I., Huerta-López, C.I., Castro-Escamilla, R.R., Romo-Jones, J.M., 2012. Soil damping and site dominant vibration period determination, by means of random decrement method and its relationship with the site-specific spectral decay parameter kappa. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 43, 237–246. doi:10.1016/j.soildyn.2012.07.031
- Fnais, M.S., Abdelrahman, K., Al-Amri, A.M., 2010. Microtremor measurements in Yanbu city of Western Saudi Arabia: A tool for seismic microzonation. *J. King Saud Univ. - Sci.* 22, 97–110. doi:10.1016/j.jksus.2010.02.006
- Garcia-Jerez, A., Piñá-Flores, J., Sánchez-Sesma, F.J., Luzón, F., Pertón, M., 2016. A computer code for forward calculation and inversion of the H/V spectral ratio under the diffuse field assumption. *Comput. Geosci.* 97, 67–78. doi:10.1016/j.cageo.2016.06.016
- Gosar, A., Rošar, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2010. Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (central Slovenia). *Bull. Earthq. Eng.* 8, 571–592. doi:10.1007/s10518-009-9113-x

- Gutenberg, B., 1958. Microseisms. *Adv. Geophys.* 5, 53–92.
- Herak, M., 2008. ModelHVSR—A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Comput. Geosci.* 34, 1514–1526. doi:10.1016/j.cageo.2007.07.009
- Hutabarat, G.W., 2009. Integrasi Inversi Seismik dengan Atribut Amplitudo Seismik Untuk Memetakan Distribusi Reservoir Pada Lapangan Blackfoot. *Makara Sains* 7.
- Jamady, A., 2011. Kuantifikasi Frekuensi dan Resolusi Menggunakan Seismik Refleksi di Perairan Maluku Utara (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kanai, K., 1983. *Engineering Seismology*. University of Tokyo Press, Tokyo.
- Konno, K., Ohmachi, T., 1998. Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 88, 228–241.
- Nakamura, Y., 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. *Proc 12th World Conf Earthq. Eng.*
- Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface. *Q. Rep. Railw. Technol. Res. Inst.* 25–33.
- Panou, A.A., N. Theodulidis, P. Hatzidimitriou, K. Stylianidis, C. B. Papazachos, 2005. Ambient noise horizontal-to-vertical spectral ratio in site effects estimation and correlation with seismic damage distribution in urban environment: the case of the city of Thessaloniki (Northern Greece). *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 25, 261–274.
- Refrizon, R., Hadi, A.I., Lestari, K., Oktari, T., 2013. Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Pros. SEMIRATA* 2013 1.

- Rohadi, S., 2009. Studi Seismotektonik Sebagai Indikator Potensi Gempabumi di Wilayah Indonesia. *J. Meteorol. Dan Geofis.* 10.
- SESAME, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation. http://sesame-fp5.obs.ujf%1EGrenoble.fr/Delivables/Del%1ED23%1EHV_User_Guidelines.pdf.
- Suharna, 2008. Laporan Melakukan Survey Mikrozonasi di Daerah Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian, Yogyakarta.
- Sumarso, T.I., 1975. Contribution to the Stratigraphy of the Jiwo Hills and Their Southern Surroundings (Central Java).
- Sungkono, 2011. Inversi Terpisah dan Simultan Dispersi Gelombang Rayleigh dan Horizontal to Vertical Spectral Ratio Menggunakan Algoritma Genetik (Thesis ITS). ITS, Surabaya.
- Supartoyo, E.T.P., Surono, 2006. Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1629-2006. Badan Geol. Pus. Vulkanol. Dan Mitigasi Bencana Geol. Bdg. 3, 1–122.
- Surono, Toha, B., Sudarno, I., 1992. Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa.
- Susilanto, P., Ngadmanto, D., Daryono, D., Hardy, T., Pakpahan, S., 2016. Penerapan Metode Mikrotremor HVSR untuk Penentuan Respons Dinamika Kegempaan di Kota Padang. *J. Lingkung. Dan Bencana Geol.* 7, 79–88.
- Towhata, I., 2008. Geotechnical earthquake engineering, Springer series in geomechanics and geoen지니어ing. Springer, Berlin.
- Utama, W., Sungkono, A.S., Warnana, D.D., 2011. FUZZY CLUSTERING TO AUTOMATIC ZONATION OF URBAN AREA ON THE INCOMPLETE DATA OF HVSR PARAMETERS.

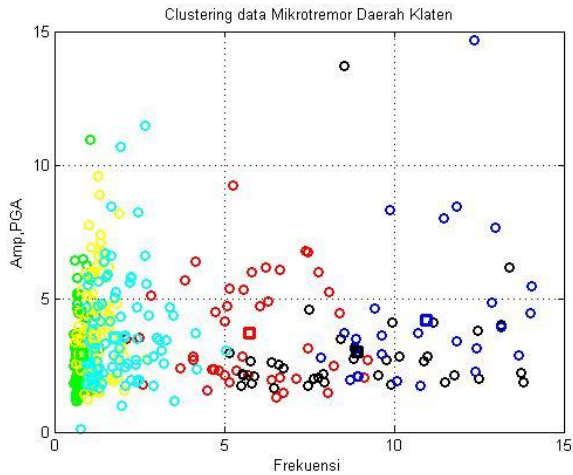
Van Bemmelen, R.W., 1949. Report on the volcanic activity and volcanological research in Indonesia during the period 1936–1948. Bull. Volcanol. 9, 3–29.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

A. Hasil Clustering

A.1 Hasil *clustering* frekuensi natural, amplifikasi, PGA



Gambar 1. Pengelompokan data menggunakan metode *GK Clustering* dengan *input* frekuensi natural, amplifikasi, dan PGA

x	y	frekuensi natural	amplifikasi	PGA	clustering
477886	9147919	1.43744	6.35293	49.48281	1
478058	9148963	1.60073	6.14918	51.08672	1
477001	9149001	1.36452	7.40685	48.2693	1
477001	9148002	1.3497	7.08807	48.86542	1
476002	9147998	1.29056	9.56934	48.90069	1
474998	9148035	3.27868	3.42678	79.719	2
475021	9149092	1.32813	8.88767	49.71023	1

473925	9149000	1.129	6.02324	47.06367	1
473998	9147970	0.938675	6.23552	43.70922	3
472941	9148020	1.11319	5.18728	48.73327	1
473039	9149048	1.16796	5.83827	48.79006	1
472009	9148957	3.49633	4.34858	86.56345	2
471979	9147976	1.40429	6.73041	56.0213	1
471027	9147935	1.47268	4.56995	58.70173	1
471029	9149023	0.982375	3.68628	46.84535	1
470011	9148035	3.02582	3.54736	85.96128	2
479973	9148995	2.78095	4.38381	64.47631	2
469008	9149040	2.68171	6.61572	80.9582	2
468919	9148946	2.46009	8.22586	77.8612	2
467986	9148946	2.68693	11.4543	83.08467	2
466970	9148024	1.66481	6.61053	68.38998	2
467000	9149000	1.23202	4.73796	57.43011	1
466075	9149000	1.65381	4.14347	67.90558	2
466069	9147944	1.07316	4.5892	56.15374	1
465093	9147927	0.703372	3.98817	46.49362	1
464925	9148992	0.999504	3.81697	54.13954	1
464004	9149041	1.06713	3.48441	56.98729	1
464086	9148003	0.741591	2.97228	48.72991	1
463044	9148025	0.937272	5.10007	56.02114	1
463019	9149049	9.896	8.30138	177.1638	6
462045	9148989	0.726456	4.49313	50.91893	1
461940	9148041	1.09491	3.50899	61.98672	2
460991	9147907	1.38099	4.7992	71.30786	2
460953	9148986	0.782286	3.42698	52.07771	1
460058	9149043	0.872669	3.65894	55.90944	1

459048	9149031	0.773329	2.80218	53.70339	1
457985	9148978	0.652771	3.65271	50.43332	1
456977	9149054	0.756431	2.56711	55.17976	1
455947	9148957	0.653598	2.55926	52.40605	1
455071	9149049	0.886298	3.11761	61.7643	1
453966	9148968	0.940846	2.65374	64.97804	2
452996	9149063	0.987858	2.1003	67.37436	2
451954	9148978	1.29163	2.08995	78.46055	2
451030	9149025	8.5437	3.7229	204.0327	6
450166	9148962	1.1255	3.82512	75.0545	2
449075	9149016	1.12305	4.1152	75.7977	2
448012	9149064	1.06224	2.6379	74.4214	2
446938	9149047	0.971373	2.90345	71.93535	2
446035	9149047	1.02799	2.54908	74.55256	2
444972	9149003	1.11275	1.98672	78.2775	2
445005	9147980	1.07455	1.73308	80.07711	2
446049	9147995	1.22963	2.00511	84.94922	2
447030	9148017	8.7126	1.95083	223.9995	6
448014	9148003	0.964528	2.53753	73.84143	2
448958	9147961	0.780355	0.0924613	65.82741	2
449974	9147968	0.97083	5.79487	72.4909	2
451041	9148069	0.983373	5.50611	71.65247	2
452084	9147915	0.959858	4.66221	70.11533	2
453020	9148002	0.968552	1.80901	69.2028	2
453980	9148122	8.885	3.47021	205.4893	6
455004	9148003	0.600463	3.3399	52.70393	1
459919	9147987	0.674364	3.46573	50.84132	1
457973	9148080	0.710451	2.92355	54.11305	1
477993	9152942	1.60816	3.86199	47.7985	1

476986	9153030	1.56172	3.71117	48.00692	1
478061	9151886	1.67141	4.30995	49.58795	1
477000	9151999	1.82822	4.78547	52.92102	1
475945	9152001	0.769913	3.60921	35.10912	3
475810	9153095	0.688551	3.687	32.61121	3
474939	9152977	0.811995	4.4883	36.1311	3
475163	9151974	5.02032	2.11958	91.18115	4
474014	9151966	0.645754	3.21182	33.50352	3
473987	9152929	7.45273	6.74967	111.7151	4
472992	9152995	0.677025	2.67387	34.31378	3
473005	9152037	0.806279	3.48672	38.17912	3
471996	9152112	6.04503	4.69522	106.5882	4
471975	9152999	0.742506	5.1435	36.67962	3
471018	9153034	0.692756	3.57353	36.09211	3
471063	9151977	1.188	5.97296	48.31241	1
470033	9152098	1.1876	3.83684	49.20996	1
470039	9153007	0.942877	4.27011	42.96565	3
469013	9153002	0.831426	6.44855	41.18298	3
467938	9152033	0.90842	4.13279	44.98217	3
468114	9152879	1.12202	2.56747	48.83809	1
467092	9153222	1.04096	3.87315	47.60005	1
466009	9152921	3.83334	5.66677	93.95543	4
467068	9151903	0.998785	3.10632	48.15001	1
466019	9152041	0.811971	4.47044	44.18373	3
464954	9151953	0.778343	3.2425	44.27311	3
464857	9152946	0.640792	3.15573	39.24256	3
464006	9152982	0.641394	3.07097	39.85571	3
463920	9151998	0.72461	2.73135	43.53264	3

463042	9152059	0.68555	3.72521	42.98837	3
461990	9152010	0.699432	4.44437	44.34351	3
463143	9153047	0.703579	3.00816	42.34058	3
461989	9152974	0.896195	3.00981	48.88981	1
461013	9153003	0.637732	2.52851	41.92596	3
460917	9152097	6.74663	2.38108	140.1104	5
459996	9151997	0.86985	1.41364	51.28912	1
459801	9152996	0.998178	2.84875	53.56787	1
453916	9152097	1.16631	1.72198	65.21998	2
454980	9151992	7.84232	2.79795	167.1365	6
456005	9153002	8.91511	2.08245	170.015	6
453987	9152948	8.96131	2.09936	175.6771	6
452951	9152959	1.40068	1.82914	70.37195	2
452952	9152013	8.831	3.0952	182.3237	6
451966	9151995	1.31471	2.40588	71.28226	2
451941	9153022	1.42149	2.2246	71.62177	2
451015	9152965	5.78829	2.64189	146.3415	5
451084	9151941	1.05623	2.56597	64.69052	2
449983	9152983	1.03043	3.38237	62.38362	2
450061	9151996	1.22994	2.05553	70.47317	2
448927	9151902	1.05293	2.63352	66.17809	2
448011	9152122	1.17315	3.14616	69.88826	2
447002	9153132	1.07478	2.03323	65.04081	2
448965	9152988	1.25233	2.65695	69.43943	2
448005	9152993	1.09271	3.81061	65.39625	2
446987	9151995	1.224	3.2952	72.31207	2
446275	9151914	1.12996	3.31867	70.04396	2
446065	9153047	5.49337	1.74998	148.4258	5
444977	9152015	0.93393	1.78797	63.95069	2

445009	9152988	1.24916	2.3403	71.36021	2
478048	9143147	6.52364	1.2724	113.5993	4
477996	9143977	2.23998	5.60545	65.7811	2
478033	9145003	6.22773	6.17252	107.7794	4
478035	9146040	5.27563	9.23436	97.51385	4
477953	9146931	1.48606	5.76626	51.08672	1
477228	9146572	1.91256	8.18856	59.32026	1
477054	9146170	2.41397	4.67199	67.38584	2
476996	9144991	4.16114	6.38173	90.3952	4
476882	9143972	1.96115	10.6714	63.30653	2
477026	9143066	2.06929	1.71127	65.76252	2
475947	9142961	2.24291	5.8326	70.52588	2
475997	9144041	2.44292	3.48031	72.17213	2
476040	9144946	2.26655	5.75798	68.36526	2
476083	9145701	2.0621	3.5298	64.28485	2
474948	9146858	1.52512	4.73725	55.64314	1
474072	9146966	1.10757	5.70822	48.31969	1
474027	9145993	1.24488	6.18965	52.23932	1
474698	9146303	1.94041	4.3111	63.79448	2
474007	9144917	2.38776	2.5413	73.85956	2
474926	9145026	1.71519	3.53726	61.0556	1
474938	9143909	4.70656	2.34099	103.1526	4
474981	9142932	2.4556	1.97317	75.71408	2
474044	9143865	8.537	13.7237	142.2602	5
474005	9142981	1.31366	1.46564	56.76456	1
467960	9142985	0.890657	4.12757	54.88255	1
469000	9142947	0.97715	5.0884	55.95521	1
470051	9142973	0.816473	5.33852	49.70447	1

471013	9142979	0.906275	5.9576	51.03475	1
471020	9144026	1.51581	6.69706	64.61096	2
469965	9143981	1.19664	4.59344	59.05319	1
468998	9143981	1.3079	5.63721	63.30677	2
468056	9144172	1.4587	6.36935	68.2174	2
473008	9144035	5.1455	5.37279	113.0686	4
472956	9143121	1.82183	5.24786	68.54186	2
471907	9143025	1.30903	6.60593	59.84184	1
473015	9144989	5.00798	4.14746	109.5111	4
471921	9144799	1.77236	5.02105	67.21908	2
470972	9145953	1.6601	8.45308	65.06324	2
471992	9146220	1.28939	2.408	55.62241	1
473006	9146000	1.59832	4.38745	60.67929	1
472978	9146950	1.60299	4.18464	59.68482	1
471957	9147004	0.671292	2.65046	39.53297	3
471010	9147013	2.07754	3.63298	71.12141	2
470015	9146981	1.50616	3.31001	62.05161	2
470000	9146014	3.71043	2.40991	99.48762	4
469000	9146010	1.35698	3.99768	61.66104	1
468926	9146852	1.5707	5.89072	65.21874	2
467970	9146038	1.08671	4.41115	56.54912	1
467994	9147014	1.72506	2.88626	69.62019	2
467960	9138986	12.3593	14.681	222.8874	6
468986	9139015	2.8609	5.10806	103.9297	4
469959	9139026	1.36263	4.16547	69.66334	2
470934	9138953	1.01338	7.73445	58.44637	1
472005	9137951	1.27959	4.71506	64.75545	2
472146	9138799	1.07896	6.90177	58.35301	1
471008	9138011	2.50458	3.54954	93.25862	4

472264	9136964	1.51727	5.79749	71.12691	2
471019	9136991	9.41418	4.61756	184.0073	6
479998	9137994	7.40934	6.79753	123.6736	4
468819	9137867	2.13346	3.47621	92.26556	4
477959	9155029	2.71288	2.72415	59.82395	1
477958	9155900	3.15287	3.04861	63.47889	2
478023	9156945	1.32745	3.14885	40.36089	3
476991	9155854	3.10238	3.44616	64.19601	2
476923	9155375	3.39264	4.65843	67.82434	2
476047	9155990	1.13501	2.8251	39.43137	3
475925	9156853	1.09464	1.79985	38.17479	3
476143	9155170	8.40096	4.44793	108.7704	4
476008	9153974	5.82033	5.98291	92.86815	4
476943	9153690	1.98641	3.19007	53.5317	1
475005	9155049	6.63534	6.07911	99.05229	4
475111	9155811	1.057	10.9547	38.86877	3
475010	9157027	5.04214	3.06522	83.04622	2
474114	9158027	1.0495	2.74901	37.74965	3
473942	9156891	13.411	6.15185	138.499	5
473962	9156032	9.23904	2.71106	116.922	4
473940	9154856	1.08528	3.00789	41.05157	3
473967	9154105	1.2148	4.3247	44.06994	3
472990	9153996	11.156	4.10168	136.4562	5
473018	9154833	0.626512	2.82753	31.76685	3
472966	9155861	1.13508	1.76505	41.90216	3
473016	9157183	1.04846	1.56727	39.15063	3
472974	9158076	0.744417	1.97001	32.41075	3
464897	9154037	0.636293	1.15768	38.00957	3

465871	9155084	0.688286	1.16093	37.84219	3
466049	9155990	3.52953	1.16311	83.55071	2
466862	9158028	6.72944	1.48085	108.3441	4
467117	9159087	13.8212	1.84455	150.8127	5
468014	9159057	11.7595	2.10652	137.202	5
469172	9158905	0.918529	2.79452	37.75144	3
470846	9158084	1.01	5.72344	39.17985	3
472004	9157871	2.04702	1.54712	54.90881	1
472080	9158926	13.1655	4.01719	136.0072	5
472004	9159681	13.7323	2.19362	136.89	5
470959	9159846	0.872	4.47616	34.97773	3
471963	9161126	0.652998	1.40456	28.97731	3
470976	9161046	8.21618	2.4942	104.6054	4
470974	9158980	0.856467	2.4314	35.30904	3
470997	9157014	1.07049	2.34236	41.17274	3
471886	9156740	1.03774	1.73326	40.12756	3
472019	9155970	0.661357	2.39702	32.48165	3
471988	9155127	1.23725	2.0666	45.25322	3
471874	9154316	0.672404	3.72727	34.01363	3
471172	9154158	0.601	6.41913	32.70984	3
470849	9154726	0.87231	2.73054	39.168	3
469958	9154007	0.682388	2.02568	35.80436	3
469769	9154743	0.688639	4.62906	35.50996	3
469993	9156121	1.03587	1.67606	42.05867	3
469794	9156963	5.53542	2.81159	95.76243	4
470093	9157751	0.871957	1.75838	37.15314	3
469966	9158869	0.911326	1.95424	37.137	3
469643	9159615	6.39825	1.9589	97.3109	4
468989	9159937	1.02897	3.4151	39.15835	3

468019	9160080	9.10603	2.04431	117.9227	4
467029	9160119	9.92926	1.76434	124.9498	5
466957	9161036	0.675543	1.31695	31.93727	3
465950	9153927	0.686037	2.54298	38.81616	3
466949	9154002	0.75535	2.47123	39.90342	3
468984	9154027	0.669514	4.79365	36.12136	3
469062	9154994	0.679613	5.12505	35.54646	3
469099	9156193	6.64099	2.02966	108.0563	4
468946	9156938	1.06844	2.26312	42.73101	3
467909	9157791	0.828718	2.43216	37.56913	3
467992	9157033	1.07906	4.91254	43.56875	3
467985	9156020	1.30249	1.56774	49.01512	1
468043	9155069	0.682729	5.75647	36.24469	3
466829	9154875	0.656823	5.17821	36.51805	3
467041	9156058	0.653888	3.66296	35.28445	3
467045	9156927	8.06773	1.45383	121.3948	4
468005	9161010	0.701858	1.86784	32.05733	3
468992	9160883	0.785107	3.58161	33.48612	3
469987	9160885	0.809324	1.86525	33.46829	3
466153	9157040	6.28883	4.88012	108.5229	4
465999	9157989	8.89445	2.94067	126.4549	5
465925	9158978	8.09918	5.22054	117.9651	4
466190	9159859	10.9742	2.81308	133.8957	5
465939	9161059	0.769086	1.5714	34.58024	3
464996	9160962	1.08037	2.14033	41.65286	3
465923	9162166	0.967894	1.79602	37.79981	3
465048	9161967	5.37133	2.30155	90.58704	4
464934	9160043	0.829976	1.64285	37.36624	3

464990	9158925	7.79072	6.00028	117.555	4
464904	9157836	0.601	2.70199	33.58452	3
464886	9156921	5.17212	1.86486	100.8171	4
465086	9156011	0.63007	3.29263	35.87419	3
465132	9154956	0.607122	3.1568	36.12646	3
463933	9153960	0.730492	3.21121	41.52452	3
463059	9154975	0.597848	3.27107	37.1486	3
464112	9154991	0.695203	2.80079	39.32271	3
464038	9155953	7.48033	1.71365	126.0109	5
463105	9156955	0.626782	2.01713	36.09555	3
463990	9157008	0.584228	1.80134	34.3097	3
463993	9157955	1.14446	2.67466	46.88109	1
464030	9158906	7.45408	3.15143	116.7532	4
464345	9159640	4.19725	2.35194	85.61628	2
464199	9160219	5.58257	5.34211	97.54722	4
463962	9161006	5.09552	4.73364	91.71547	4
463848	9161908	4.75179	4.47971	86.76355	4
462875	9153963	0.62767	2.89826	39.2194	3
461965	9154119	0.581923	3.65243	38.20494	3
462907	9155848	12.8704	4.86017	168.8901	6
461928	9155947	5.7045	2.12096	113.9454	4
462231	9154924	0.597446	1.91159	37.71072	3
462011	9156982	10.8687	2.64315	152.8089	5
462998	9157934	0.962671	2.03732	43.69039	3
463059	9158880	1.16042	3.38029	46.77584	1
462738	9159672	0.91148	2.54572	40.81814	3
461841	9160444	1.00442	2.59388	42.54163	3
462047	9159919	0.923245	2.38542	41.22417	3
463030	9160004	2.51037	1.93296	66.89019	2

462972	9161003	2.7168	5.55483	67.91132	2
462976	9162084	4.16577	3.7126	81.84765	2
461946	9162052	1.12775	2.62752	43.20329	3
461060	9162018	1.88122	2.04092	56.48742	1
461989	9160945	0.747156	2.16036	36.14954	3
460884	9160994	1.66495	2.01604	54.69264	1
460999	9160017	2.27484	1.95302	65.48467	2
460993	9159023	0.907265	1.70997	42.45804	3
461968	9158930	12.4497	3.78428	155.4879	5
462037	9158079	7.11612	1.97757	120.0766	4
461030	9158006	0.989771	1.63357	45.54029	3
460970	9156831	14.0594	5.45003	177.3103	6
460878	9156023	0.645	2.07056	38.87656	3
461073	9155064	8.80122	2.73293	146.972	5
461036	9154172	0.679953	2.64169	41.89225	3
460051	9154055	0.656652	3.08638	41.98199	3
458946	9153988	0.639604	3.20813	42.25886	3
458947	9154984	7.77736	2.02355	143.1852	5
460047	9155096	0.744912	3.54761	43.4259	3
460163	9155947	0.654493	1.47295	39.67916	3
459000	9156040	0.725793	1.55912	42.40902	3
458895	9156960	4.83543	2.29622	106.8155	4
460049	9158057	1.0797	2.49924	48.17171	1
459051	9158971	4.08276	2.82826	92.61322	4
460040	9159004	4.07999	2.71841	91.27899	4
459971	9160015	0.970128	2.03097	43.35705	3
459174	9160157	2.90956	1.73545	75.57356	2
457971	9161034	1.06376	2.17199	45.27991	3

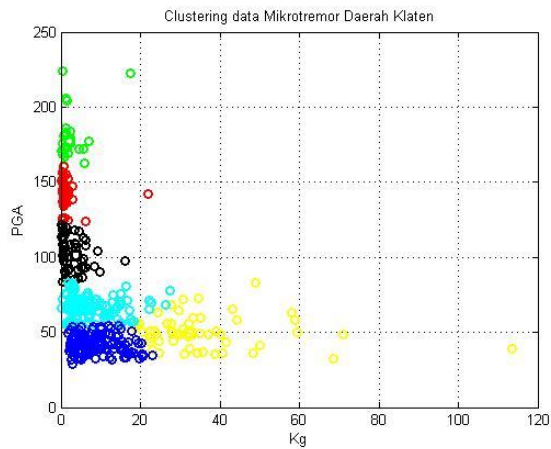
458900	9161000	0.971667	1.54531	42.83613	3
460029	9161017	11.5071	1.8572	145.2888	5
459993	9161991	1.24047	2.05684	46.51677	1
459006	9162025	2.72691	2.68696	69.73047	2
457875	9162998	2.9105	2.84569	71.10281	2
457934	9162040	0.911281	2.64535	40.79665	3
458003	9159938	0.959401	2.59785	44.3001	3
457997	9159083	1.057	2.70327	47.62111	1
458018	9158035	4.49344	1.54301	101.0945	4
457818	9157134	1.295	2.89864	55.8303	1
457945	9156888	9.54796	2.13832	152.4065	5
456992	9157089	1.08495	2.20724	51.7335	1
457047	9156055	0.991259	1.8493	50.93115	1
457897	9155961	0.653185	1.23938	40.97009	3
458016	9154972	0.623583	1.83294	41.12976	3
458032	9153990	6.6064	2.52733	137.7589	5
455096	9154062	9.64163	3.62408	173.2752	6
455993	9155009	1.08981	1.47998	55.89615	1
455948	9155997	10.7769	1.71963	170.7082	6
456044	9156983	1.13315	1.78204	53.68421	1
457028	9158013	12.4105	2.27724	170.2747	6
456250	9158029	1.01377	2.16128	49.11578	1
455922	9158890	12.9687	7.65369	172.0021	6
456930	9158909	0.938637	1.73103	45.6973	3
456999	9160045	10.1687	2.83783	145.5331	5
456032	9160040	14.0154	4.44536	172.7813	6
456006	9160784	3.2219	2.57509	81.13552	2
457050	9160986	12.4968	1.97625	157.0621	5
456067	9162224	0.95049	2.74186	42.30247	3

456959	9161893	1.57977	2.00098	54.51796	1
455980	9162928	2.04952	2.81911	60.97788	1
455997	9163996	1.72732	1.89728	54.36408	1
457023	9163036	2.43136	1.87289	65.51564	2
455018	9162052	1.8383	2.72948	59.74197	1
453973	9161940	1.19917	2.51442	48.8917	1
455106	9161213	2.15328	2.55437	66.15204	2
454974	9160987	2.08839	2.45156	65.65693	2
454043	9161014	12.4263	3.12115	161.5217	6
454063	9160038	0.862971	2.42798	43.78309	3
454996	9159952	1.83535	2.21509	63.39589	2
455064	9158028	1.10643	2.96315	52.0396	1
455031	9156969	1.96809	0.994902	71.66606	2
454944	9155991	11.8373	3.39838	181.2432	6
455023	9154939	1.01163	1.83211	54.67066	1
455831	9153879	9.64105	2.92982	172.494	6
457053	9154039	0.569903	2.47731	41.00309	3
456942	9154893	10.0754	1.89709	168.3147	6
453956	9155074	7.92379	2.16174	154.4294	5
454007	9154056	0.976607	1.21455	55.95447	1
453003	9153998	5.56664	2.14293	135.5218	5
453029	9155023	2.5925	1.78039	89.45795	4
452964	9156027	2.38639	2.68158	83.19982	2
452950	9156998	1.92127	2.67735	72.43034	2
454033	9156976	1.16424	2.84059	55.75414	1
453859	9157978	1.69169	2.43108	65.3158	2
453267	9158066	13.1663	3.91284	182.8726	6
453047	9159090	13.6688	2.86975	181.0432	6

453901	9158877	1.30243	1.85578	55.75883	1
453075	9160005	8.83818	3.18533	141.6133	5
452944	9160994	0.719871	1.52588	39.30129	3
453096	9162069	1.057	3.26734	46.09619	3
443129	9154031	5.79975	1.8353	149.2221	5
443080	9155016	6.45744	1.64061	152.0533	5
443883	9161028	0.899696	2.03165	46.34968	3
445757	9158941	1.11926	1.79335	54.88542	1
447145	9155973	10.7	3.72188	185.7937	6
446813	9148400	1.04134	2.63682	76.447	2
450200	9149933	0.769795	2.31599	59.89539	1
451811	9154094	5.87419	2.08008	140.7131	5
451913	9154891	7.63777	2.0033	156.1429	5
451881	9155978	1.171	2.18303	59.05138	1
452172	9157733	1.91422	3.14309	71.22761	2
451946	9157995	9.7892	2.68245	160.1178	5
451804	9158817	8.4322	3.47466	145.0755	5
451046	9160071	9.95495	4.11676	152.7036	5
451681	9160481	1.17219	1.62981	51.48399	1
450948	9160952	11.845	8.46023	162.3265	6
450094	9160014	0.947839	2.16314	47.55437	1
450162	9159350	6.40529	2.60482	126.1141	5
449609	9158879	11.45	8.00512	171.8375	6
450808	9158029	1.17042	2.07562	55.88193	1
450975	9157002	1.12704	2.80129	56.56446	1
450794	9154812	0.639098	1.38867	45.8142	3
450126	9156040	7.93526	1.85149	156.0228	5
449989	9156733	1.08757	1.88176	56.54019	1
449636	9156989	7.48363	4.57656	147.5247	5

449093	9156484	5.13876	2.97161	124.8219	5
448951	9156142	4.64902	2.34338	120.2066	4
448832	9154960	1.08593	2.00293	60.49722	1
449736	9154672	1.34157	1.66622	67.36629	2
449999	9154026	5.52464	2.18646	139.3729	5

A.2 Hasil *clustering* indeks kerentanan seismik dan PGA



Gambar 2. Pengelompokan data menggunakan metode *GK Clustering* dengan *input* indeks kerentanan seismik dan PGA

x	y	Kg	PGA	cluster
477886	9147919	28.0775	49.48281	1
478058	9148963	23.62198	51.08672	1
477001	9149001	40.20566	48.2693	1
477001	9148002	37.22363	48.86542	1
476002	9147998	70.95545	48.90069	1

474998	9148035	3.58157	79.719	3
475021	9149092	59.47511	49.71023	1
473925	9149000	32.13412	47.06367	1
473998	9147970	41.42191	43.70922	1
472941	9148020	24.17186	48.73327	1
473039	9149048	29.1837	48.79006	1
472009	9148957	5.408571	86.56345	4
471979	9147976	32.25717	56.0213	1
471027	9147935	14.18125	58.70173	3
471029	9149023	13.83246	46.84535	2
470011	9148035	4.158794	85.96128	4
479973	9148995	6.910513	64.47631	3
469008	9149040	16.32084	80.9582	3
468919	9148946	27.505	77.8612	3
467986	9148946	48.82933	83.08467	1
466970	9148024	26.24871	68.38998	3
467000	9149000	18.2207	57.43011	3
466075	9149000	10.38109	67.90558	3
466069	9147944	19.62499	56.15374	1
465093	9147927	22.61321	46.49362	1
464925	9148992	14.57649	54.13954	2
464004	9149041	11.37735	56.98729	3
464086	9148003	11.91283	48.72991	2
463044	9148025	27.75151	56.02114	1
463019	9149049	6.963714	177.1638	5
462045	9148989	27.79001	50.91893	1
461940	9148041	11.24568	61.98672	3
460991	9147907	16.67812	71.30786	3
460953	9148986	15.01266	52.07771	2

460058	9149043	15.34126	55.90944	3
459048	9149031	10.15378	53.70339	2
457985	9148978	20.43947	50.43332	1
456977	9149054	8.712036	55.17976	3
455947	9148957	10.02116	52.40605	2
455071	9149049	10.96639	61.7643	3
453966	9148968	7.48511	64.97804	3
452996	9149063	4.46548	67.37436	3
451954	9148978	3.381689	78.46055	3
451030	9149025	1.622246	204.0327	5
450166	9148962	13.00004	75.0545	3
449075	9149016	15.07936	75.7977	3
448012	9149064	6.550795	74.4214	3
446938	9149047	8.67846	71.93535	3
446035	9149047	6.320887	74.55256	3
444972	9149003	3.547119	78.2775	3
445005	9147980	2.795185	80.07711	3
446049	9147995	3.269655	84.94922	4
447030	9148017	0.436808	223.9995	5
448014	9148003	6.675865	73.84143	3
448958	9147961	0.010955	65.82741	3
449974	9147968	34.58949	72.4909	1
451041	9148069	30.82986	71.65247	1
452084	9147915	22.64523	70.11533	3
453020	9148002	3.378773	69.2028	3
453980	9148122	1.355358	205.4893	5
455004	9148003	18.57722	52.70393	1
459919	9147987	17.81128	50.84132	2

457973	9148080	12.03059	54.11305	2
477993	9152942	9.274554	47.7985	2
476986	9153030	8.818983	48.00692	2
478061	9151886	11.11377	49.58795	2
477000	9151999	12.52624	52.92102	2
475945	9152001	16.91931	35.10912	2
475810	9153095	19.74286	32.61121	2
474939	9152977	24.80907	36.1311	1
475163	9151974	0.894887	91.18115	4
474014	9151966	15.97479	33.50352	2
473987	9152929	6.112934	111.7151	4
472992	9152995	10.56029	34.31378	2
473005	9152037	15.07818	38.17912	2
471996	9152112	3.646812	106.5882	4
471975	9152999	35.63014	36.67962	1
471018	9153034	18.43379	36.09211	2
471063	9151977	30.03051	48.31241	1
470033	9152098	12.39588	49.20996	2
470039	9153007	19.33851	42.96565	2
469013	9153002	50.01503	41.18298	1
467938	9152033	18.80182	44.98217	2
468114	9152879	5.875031	48.83809	2
467092	9153222	14.41102	47.60005	2
466009	9152921	8.377103	93.95543	4
467068	9151903	9.660962	48.15001	2
466019	9152041	24.61274	44.18373	1
464954	9151953	13.50793	44.27311	2
464857	9152946	15.54113	39.24256	2
464006	9152982	14.70369	39.85571	2

463920	9151998	10.29557	43.53264	2
463042	9152059	20.24242	42.98837	2
461990	9152010	28.24066	44.34351	1
463143	9153047	12.86142	42.34058	2
461989	9152974	10.10824	48.88981	2
461013	9153003	10.02516	41.92596	2
460917	9152097	0.840352	140.1104	6
459996	9151997	2.297382	51.28912	2
459801	9152996	8.13019	53.56787	2
453916	9152097	2.54239	65.21998	3
454980	9151992	0.998241	167.1365	5
456005	9153002	0.486432	170.015	5
453987	9152948	0.491816	175.6771	5
452951	9152959	2.388663	70.37195	3
452952	9152013	1.084845	182.3237	5
451966	9151995	4.402688	71.28226	3
451941	9153022	3.481449	71.62177	3
451015	9152965	1.205811	146.3415	6
451084	9151941	6.233682	64.69052	3
449983	9152983	11.10258	62.38362	3
450061	9151996	3.435292	70.47317	3
448927	9151902	6.586789	66.17809	3
448011	9152122	8.437389	69.88826	3
447002	9153132	3.846391	65.04081	3
448965	9152988	5.636999	69.43943	3
448005	9152993	13.28875	65.39625	3
446987	9151995	8.871195	72.31207	3
446275	9151914	9.746868	70.04396	3

446065	9153047	0.557477	148.4258	6
444977	9152015	3.422994	63.95069	3
445009	9152988	4.38455	71.36021	3
478048	9143147	0.248175	113.5993	4
477996	9143977	14.02739	65.7811	3
478033	9145003	6.117799	107.7794	4
478035	9146040	16.16364	97.51385	4
477953	9146931	22.37444	51.08672	1
477228	9146572	35.05904	59.32026	1
477054	9146170	9.042155	67.38584	3
476996	9144991	9.787337	90.3952	4
476882	9143972	58.06735	63.30653	1
477026	9143066	1.415193	65.76252	3
475947	9142961	15.16745	70.52588	3
475997	9144041	4.958229	72.17213	3
476040	9144946	14.62766	68.36526	3
476083	9145701	6.042136	64.28485	3
474948	9146858	14.7146	55.64314	3
474072	9146966	29.41916	48.31969	1
474027	9145993	30.77547	52.23932	1
474698	9146303	9.578173	63.79448	3
474007	9144917	2.704713	73.85956	3
474926	9145026	7.29494	61.0556	3
474938	9143909	1.164382	103.1526	4
474981	9142932	1.585519	75.71408	3
474044	9143865	22.06161	142.2602	6
474005	9142981	1.635203	56.76456	3
467960	9142985	19.12839	54.88255	1
469000	9142947	26.49728	55.95521	1

470051	9142973	34.90599	49.70447	1
471013	9142979	39.16361	51.03475	1
471020	9144026	29.58855	64.61096	1
469965	9143981	17.63245	59.05319	3
468998	9143981	24.29707	63.30677	1
468056	9144172	27.81149	68.2174	1
473008	9144035	5.61012	113.0686	4
472956	9143121	15.11669	68.54186	3
471907	9143025	33.33637	59.84184	1
473015	9144989	3.434803	109.5111	4
471921	9144799	14.2245	67.21908	3
470972	9145953	43.04232	65.06324	1
471992	9146220	4.49706	55.62241	3
473006	9146000	12.04372	60.67929	3
472978	9146950	10.92409	59.68482	3
471957	9147004	10.4648	39.53297	2
471010	9147013	6.352967	71.12141	3
470015	9146981	7.274238	62.05161	3
470000	9146014	1.565227	99.48762	4
469000	9146010	11.77722	61.66104	3
468926	9146852	22.09243	65.21874	3
467970	9146038	17.90565	56.54912	3
467994	9147014	4.829106	69.62019	3
467960	9138986	17.43883	222.8874	5
468986	9139015	9.120304	103.9297	4
469959	9139026	12.73357	69.66334	3
470934	9138953	59.03187	58.44637	1
472005	9137951	17.37415	64.75545	3

472146	9138799	44.14847	58.35301	1
471008	9138011	5.030478	93.25862	4
472264	9136964	22.15221	71.12691	3
471019	9136991	2.264866	184.0073	5
479998	9137994	6.236239	123.6736	6
468819	9137867	5.664056	92.26556	4
477959	9155029	2.735467	59.82395	3
477958	9155900	2.947798	63.47889	3
478023	9156945	7.469401	40.36089	2
476991	9155854	3.828035	64.19601	3
476923	9155375	6.396485	67.82434	3
476047	9155990	7.031824	39.43137	2
475925	9156853	2.959384	38.17479	2
476143	9155170	2.354979	108.7704	4
476008	9153974	6.150031	92.86815	4
476943	9153690	5.123085	53.5317	2
475005	9155049	5.569508	99.05229	4
475111	9155811	113.534	38.86877	1
475010	9157027	1.86341	83.04622	3
474114	9158027	7.200625	37.74965	2
473942	9156891	2.821956	138.499	6
473962	9156032	0.795521	116.922	4
473940	9154856	8.336468	41.05157	2
473967	9154105	15.39597	44.06994	2
472990	9153996	1.508048	136.4562	6
473018	9154833	12.76101	31.76685	2
472966	9155861	2.744654	41.90216	2
473016	9157183	2.342803	39.15063	2
472974	9158076	5.213394	32.41075	2

464897	9154037	2.106298	38.00957	2
465871	9155084	1.958137	37.84219	2
466049	9155990	0.383288	83.55071	4
466862	9158028	0.325869	108.3441	4
467117	9159087	0.24617	150.8127	6
468014	9159057	0.377348	137.202	6
469172	9158905	8.502009	37.75144	2
470846	9158084	32.43343	39.17985	1
472004	9157871	1.1693	54.90881	3
472080	9158926	1.225765	136.0072	6
472004	9159681	0.350412	136.89	6
470959	9159846	22.97707	34.97773	2
471963	9161126	3.021125	28.97731	2
470976	9161046	0.757169	104.6054	4
470974	9158980	6.902433	35.30904	2
470997	9157014	5.125363	41.17274	2
471886	9156740	2.894935	40.12756	2
472019	9155970	8.687751	32.48165	2
471988	9155127	3.451878	45.25322	2
471874	9154316	20.661	34.01363	2
471172	9154158	68.56111	32.70984	1
470849	9154726	8.547247	39.168	2
469958	9154007	6.013264	35.80436	2
469769	9154743	31.11673	35.50996	1
469993	9156121	2.711901	42.05867	2
469794	9156963	1.428083	95.76243	4
470093	9157751	3.545932	37.15314	2
469966	9158869	4.190656	37.137	2

469643	9159615	0.59974	97.3109	4
468989	9159937	11.33455	39.15835	2
468019	9160080	0.458949	117.9227	4
467029	9160119	0.313507	124.9498	6
466957	9161036	2.567353	31.93727	2
465950	9153927	9.426237	38.81616	2
466949	9154002	8.084964	39.90342	2
468984	9154027	34.32203	36.12136	1
469062	9154994	38.64867	35.54646	1
469099	9156193	0.620317	108.0563	4
468946	9156938	4.793636	42.73101	2
467909	9157791	7.138016	37.56913	2
467992	9157033	22.36488	43.56875	1
467985	9156020	1.887008	49.01512	2
468043	9155069	48.53602	36.24469	1
466829	9154875	40.82357	36.51805	1
467041	9156058	20.51923	35.28445	2
467045	9156927	0.261985	121.3948	4
468005	9161010	4.970843	32.05733	2
468992	9160883	16.33909	33.48612	2
469987	9160885	4.298844	33.46829	2
466153	9157040	3.786964	108.5229	4
465999	9157989	0.97224	126.4549	6
465925	9158978	3.365037	117.9651	4
466190	9159859	0.721093	133.8957	6
465939	9161059	3.210692	34.58024	2
464996	9160962	4.240226	41.65286	2
465923	9162166	3.332687	37.79981	2
465048	9161967	0.986186	90.58704	4

464934	9160043	3.251848	37.36624	2
464990	9158925	4.621314	117.555	4
464904	9157836	12.14767	33.58452	2
464886	9156921	0.672394	100.8171	4
465086	9156011	17.20668	35.87419	2
465132	9154956	16.41414	36.12646	2
463933	9153960	14.11633	41.52452	2
463059	9154975	17.89736	37.1486	2
464112	9154991	11.28365	39.32271	2
464038	9155953	0.392576	126.0109	6
463105	9156955	6.491593	36.09555	2
463990	9157008	5.55404	34.3097	2
463993	9157955	6.250814	46.88109	2
464030	9158906	1.332359	116.7532	4
464345	9159640	1.317916	85.61628	4
464199	9160219	5.112007	97.54722	4
463962	9161006	4.39746	91.71547	4
463848	9161908	4.223209	86.76355	4
462875	9153963	13.38269	39.2194	2
461965	9154119	22.92442	38.20494	1
462907	9155848	1.835316	168.8901	5
461928	9155947	0.788583	113.9454	4
462231	9154924	6.116329	37.71072	2
462011	9156982	0.642785	152.8089	6
462998	9157934	4.311621	43.69039	2
463059	9158880	9.846746	46.77584	2
462738	9159672	7.110074	40.81814	2
461841	9160444	6.698606	42.54163	2

462047	9159919	6.163292	41.22417	2
463030	9160004	1.48836	66.89019	3
462972	9161003	11.35753	67.91132	3
462976	9162084	3.308728	81.84765	3
461946	9162052	6.121801	43.20329	2
461060	9162018	2.214177	56.48742	3
461989	9160945	6.246561	36.14954	2
460884	9160994	2.441165	54.69264	3
460999	9160017	1.676728	65.48467	3
460993	9159023	3.22287	42.45804	2
461968	9158930	1.150291	155.4879	6
462037	9158079	0.549567	120.0766	4
461030	9158006	2.69613	45.54029	2
460970	9156831	2.112667	177.3103	5
460878	9156023	6.646851	38.87656	2
461073	9155064	0.848622	146.972	6
461036	9154172	10.26325	41.89225	2
460051	9154055	14.50653	41.98199	2
458946	9153988	16.09136	42.25886	2
458947	9154984	0.526497	143.1852	6
460047	9155096	16.89533	43.4259	2
460163	9155947	3.314904	39.67916	2
459000	9156040	3.34924	42.40902	2
458895	9156960	1.090415	106.8155	4
460049	9158057	5.785126	48.17171	2
459051	9158971	1.959227	92.61322	4
460040	9159004	1.811218	91.27899	4
459971	9160015	4.25185	43.35705	2
459174	9160157	1.035135	75.57356	3

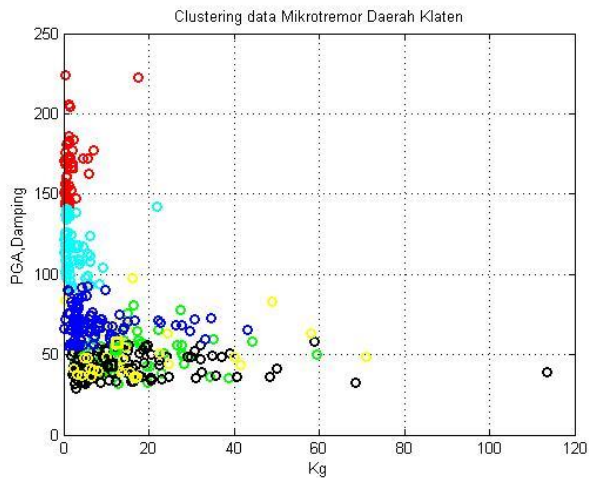
457971	9161034	4.434779	45.27991	2
458900	9161000	2.457615	42.83613	2
460029	9161017	0.299745	145.2888	6
459993	9161991	3.410474	46.51677	2
459006	9162025	2.647595	69.73047	3
457875	9162998	2.782323	71.10281	3
457934	9162040	7.679164	40.79665	2
458003	9159938	7.034415	44.3001	2
457997	9159083	6.913594	47.62111	2
458018	9158035	0.529857	101.0945	4
457818	9157134	6.488119	55.8303	3
457945	9156888	0.478889	152.4065	6
456992	9157089	4.490445	51.7335	2
457047	9156055	3.450068	50.93115	2
457897	9155961	2.35165	40.97009	2
458016	9154972	5.387685	41.12976	2
458032	9153990	0.96685	137.7589	6
455096	9154062	1.362213	173.2752	5
455993	9155009	2.009837	55.89615	3
455948	9155997	0.274395	170.7082	5
456044	9156983	2.802512	53.68421	2
457028	9158013	0.417858	170.2747	5
456250	9158029	4.607683	49.11578	2
455922	9158890	4.51695	172.0021	5
456930	9158909	3.192357	45.6973	2
456999	9160045	0.791967	145.5331	6
456032	9160040	1.409965	172.7813	5
456006	9160784	2.05813	81.13552	2

457050	9160986	0.312525	157.0621	6
456067	9162224	7.90939	42.30247	2
456959	9161893	2.534496	54.51796	3
455980	9162928	3.877679	60.97788	3
455997	9163996	2.083963	54.36408	3
457023	9163036	1.442697	65.51564	3
455018	9162052	4.052691	59.74197	3
453973	9161940	5.272237	48.8917	2
455106	9161213	3.030171	66.15204	3
454974	9160987	2.877885	65.65693	3
454043	9161014	0.783948	161.5217	5
454063	9160038	6.831153	43.78309	2
454996	9159952	2.673399	63.39589	3
455064	9158028	7.935665	52.0396	2
455031	9156969	0.502939	71.66606	3
454944	9155991	0.975644	181.2432	5
455023	9154939	3.318038	54.67066	3
455831	9153879	0.890343	172.494	5
457053	9154039	10.76861	41.00309	2
456942	9154893	0.357202	168.3147	5
453956	9155074	0.589758	154.4294	6
454007	9154056	1.510466	55.95447	3
453003	9153998	0.824941	135.5218	6
453029	9155023	1.222676	89.45795	4
452964	9156027	3.013284	83.19982	3
452950	9156998	3.730971	72.43034	3
454033	9156976	6.93066	55.75414	3
453859	9157978	3.493637	65.3158	3
453267	9158066	1.162841	182.8726	5

453047	9159090	0.602501	181.0432	5
453901	9158877	2.644226	55.75883	3
453075	9160005	1.148011	141.6133	6
452944	9160994	3.234343	39.30129	2
453096	9162069	10.09982	46.09619	2
443129	9154031	0.580771	149.2221	6
443080	9155016	0.416822	152.0533	6
443883	9161028	4.587774	46.34968	2
445757	9158941	2.87342	54.88542	3
447145	9155973	1.294616	185.7937	5
446813	9148400	6.676801	76.447	3
450200	9149933	6.967842	59.89539	3
451811	9154094	0.736567	140.7131	6
451913	9154891	0.525443	156.1429	6
451881	9155978	4.069701	59.05138	3
452172	9157733	5.160857	71.22761	3
451946	9157995	0.735049	160.1178	6
451804	9158817	1.431805	145.0755	6
451046	9160071	1.702441	152.7036	6
451681	9160481	2.266084	51.48399	2
450948	9160952	6.042676	162.3265	5
450094	9160014	4.936677	47.55437	2
450162	9159350	1.059294	126.1141	6
449609	9158879	5.596677	171.8375	5
450808	9158029	3.680899	55.88193	3
450975	9157002	6.962686	56.56446	3
450794	9154812	3.017384	45.8142	2
450126	9156040	0.431998	156.0228	6

449989	9156733	3.255901	56.54019	3
449636	9156989	2.798762	147.5247	6
449093	9156484	1.718404	124.8219	6
448951	9156142	1.181202	120.2066	4
448832	9154960	3.694279	60.49722	3
449736	9154672	2.069433	67.36629	3
449999	9154026	0.865325	139.3729	6

A.3 Hasil *Clustering* Parameter Indeks Kerentanan Seismik, PGA, Rasio Redaman



Gambar 3. Pengelompokan data menggunakan metode *GK Clustering* dengan *input* indeks kerentanan seismik dan PGA

x	y	Kg	PGA	Rasio Redaman	Cluster
477886	9147919	28.0775	49.48281	23.5891	1
478058	9148963	23.62198	51.08672	37.5797	1

477001	9149001	40.20566	48.2693	69.13375	2
477001	9148002	37.22363	48.86542	8.6896	1
476002	9147998	70.95545	48.90069	49.17175	1
474998	9148035	3.58157	79.719	18.2538	4
475021	9149092	59.47511	49.71023	30.2076	1
473925	9149000	32.13412	47.06367	4.02945	1
473998	9147970	41.42191	43.70922	53.7267	2
472941	9148020	24.17186	48.73327	5.85455	1
473039	9149048	29.1837	48.79006	12.6739	1
472009	9148957	5.408571	86.56345	5.3386	4
471979	9147976	32.25717	56.0213	12.50315	1
471027	9147935	14.18125	58.70173	29.34315	4
471029	9149023	13.83246	46.84535	51.82375	2
470011	9148035	4.158794	85.96128	16.8182	4
479973	9148995	6.910513	64.47631	48.37415	2
469008	9149040	16.32084	80.9582	43.29295	4
468919	9148946	27.505	77.8612	37.19865	4
467986	9148946	48.82933	83.08467	55.12955	2
466970	9148024	26.24871	68.38998	19.5228	1
467000	9149000	18.2207	57.43011	33.43175	1
466075	9149000	10.38109	67.90558	22.64825	4
466069	9147944	19.62499	56.15374	0.056	1
465093	9147927	22.61321	46.49362	6.8453	1
464925	9148992	14.57649	54.13954	67.9429	2
464004	9149041	11.37735	56.98729	19.32765	4
464086	9148003	11.91283	48.72991	24.78765	3
463044	9148025	27.75151	56.02114	20.7747	1
463019	9149049	6.963714	177.1638	0.08175	6

462045	9148989	27.79001	50.91893	25.4841	1
461940	9148041	11.24568	61.98672	15.9109	4
460991	9147907	16.67812	71.30786	4.6071	4
460953	9148986	15.01266	52.07771	6.21415	3
460058	9149043	15.34126	55.90944	11.1496	1
459048	9149031	10.15378	53.70339	11.0441	3
457985	9148978	20.43947	50.43332	0.64375	1
456977	9149054	8.712036	55.17976	38.9524	2
455947	9148957	10.02116	52.40605	12.09685	3
455071	9149049	10.96639	61.7643	10.9793	4
453966	9148968	7.48511	64.97804	6.87995	4
452996	9149063	4.46548	67.37436	3.5821	4
451954	9148978	3.381689	78.46055	22.94955	4
451030	9149025	1.622246	204.0327	11.89335	6
450166	9148962	13.00004	75.0545	7.0387	4
449075	9149016	15.07936	75.7977	33.8712	4
448012	9149064	6.550795	74.4214	15.35625	4
446938	9149047	8.67846	71.93535	17.3902	4
446035	9149047	6.320887	74.55256	22.83635	4
444972	9149003	3.547119	78.2775	9.7941	4
445005	9147980	2.795185	80.07711	11.6991	4
446049	9147995	3.269655	84.94922	3.5425	4
447030	9148017	0.436808	223.9995	20.2071	6
448014	9148003	6.675865	73.84143	72.31915	2
448958	9147961	0.010955	65.82741	20.02015	4
449974	9147968	34.58949	72.4909	9.3034	1
451041	9148069	30.82986	71.65247	17.04855	1
452084	9147915	22.64523	70.11533	14.6796	4
453020	9148002	3.378773	69.2028	22.3141	4

453980	9148122	1.355358	205.4893	29.83955	6
455004	9148003	18.57722	52.70393	6.42315	1
459919	9147987	17.81128	50.84132	7.33885	1
457973	9148080	12.03059	54.11305	21.5606	3
477993	9152942	9.274554	47.7985	9.44865	3
476986	9153030	8.818983	48.00692	40.33965	2
478061	9151886	11.11377	49.58795	40.35495	2
477000	9151999	12.52624	52.92102	3.5885	3
475945	9152001	16.91931	35.10912	75.79125	2
475810	9153095	19.74286	32.61121	33.5225	3
474939	9152977	24.80907	36.1311	4.7328	1
475163	9151974	0.894887	91.18115	56.23505	2
474014	9151966	15.97479	33.50352	23.4006	3
473987	9152929	6.112934	111.7151	3.8259	5
472992	9152995	10.56029	34.31378	17.603	3
473005	9152037	15.07818	38.17912	7.15285	3
471996	9152112	3.646812	106.5882	14.5187	5
471975	9152999	35.63014	36.67962	13.1994	1
471018	9153034	18.43379	36.09211	13.99165	3
471063	9151977	30.03051	48.31241	11.92525	1
470033	9152098	12.39588	49.20996	3.43075	3
470039	9153007	19.33851	42.96565	25.4598	1
469013	9153002	50.01503	41.18298	8.14565	1
467938	9152033	18.80182	44.98217	3.22745	3
468114	9152879	5.875031	48.83809	14.82465	3
467092	9153222	14.41102	47.60005	16.2183	3
466009	9152921	8.377103	93.95543	2.95605	4
467068	9151903	9.660962	48.15001	17.8294	3

466019	9152041	24.61274	44.18373	74.3284	2
464954	9151953	13.50793	44.27311	43.78115	2
464857	9152946	15.54113	39.24256	55.3291	2
464006	9152982	14.70369	39.85571	21.10195	3
463920	9151998	10.29557	43.53264	11.259	3
463042	9152059	20.24242	42.98837	40.3214	2
461990	9152010	28.24066	44.34351	26.0198	1
463143	9153047	12.86142	42.34058	58.2322	2
461989	9152974	10.10824	48.88981	53.7213	2
461013	9153003	10.02516	41.92596	28.32315	3
460917	9152097	0.840352	140.1104	18.0313	5
459996	9151997	2.297382	51.28912	10.24445	3
459801	9152996	8.13019	53.56787	20.5412	3
453916	9152097	2.54239	65.21998	28.84345	4
454980	9151992	0.998241	167.1365	46.4585	6
456005	9153002	0.486432	170.015	17.69275	6
453987	9152948	0.491816	175.6771	21.1392	6
452951	9152959	2.388663	70.37195	12.9917	4
452952	9152013	1.084845	182.3237	24.7591	6
451966	9151995	4.402688	71.28226	3.18475	4
451941	9153022	3.481449	71.62177	26.4682	4
451015	9152965	1.205811	146.3415	10.31675	6
451084	9151941	6.233682	64.69052	14.50725	4
449983	9152983	11.10258	62.38362	33.4522	4
450061	9151996	3.435292	70.47317	26.94655	4
448927	9151902	6.586789	66.17809	18.8663	4
448011	9152122	8.437389	69.88826	2.62815	4
447002	9153132	3.846391	65.04081	30.9356	4
448965	9152988	5.636999	69.43943	16.3587	4

448005	9152993	13.28875	65.39625	66.95835	2
446987	9151995	8.871195	72.31207	22.1728	4
446275	9151914	9.746868	70.04396	67.53505	2
446065	9153047	0.557477	148.4258	23.35465	6
444977	9152015	3.422994	63.95069	18.4194	4
445009	9152988	4.38455	71.36021	49.39595	2
478048	9143147	0.248175	113.5993	23.2767	5
477996	9143977	14.02739	65.7811	7.1	4
478033	9145003	6.117799	107.7794	6.6951	5
478035	9146040	16.16364	97.51385	54.0915	2
477953	9146931	22.37444	51.08672	55.3853	2
477228	9146572	35.05904	59.32026	38.68295	1
477054	9146170	9.042155	67.38584	55.2509	2
476996	9144991	9.787337	90.3952	22.5271	4
476882	9143972	58.06735	63.30653	57.76865	2
477026	9143066	1.415193	65.76252	19.96235	4
475947	9142961	15.16745	70.52588	15.3194	4
475997	9144041	4.958229	72.17213	79.70705	2
476040	9144946	14.62766	68.36526	40.70275	2
476083	9145701	6.042136	64.28485	10.06025	4
474948	9146858	14.7146	55.64314	32.7685	1
474072	9146966	29.41916	48.31969	30.22725	1
474027	9145993	30.77547	52.23932	13.7005	1
474698	9146303	9.578173	63.79448	59.2346	2
474007	9144917	2.704713	73.85956	17.80995	4
474926	9145026	7.29494	61.0556	15.3592	4
474938	9143909	1.164382	103.1526	2.38	5
474981	9142932	1.585519	75.71408	2.6287	4

474044	9143865	22.06161	142.2602	12.6395	5
474005	9142981	1.635203	56.76456	0.0879	3
467960	9142985	19.12839	54.88255	2.15	1
469000	9142947	26.49728	55.95521	30.0445	1
470051	9142973	34.90599	49.70447	5.5076	1
471013	9142979	39.16361	51.03475	15.50385	1
471020	9144026	29.58855	64.61096	0.6859	1
469965	9143981	17.63245	59.05319	28.0867	1
468998	9143981	24.29707	63.30677	64.5663	2
468056	9144172	27.81149	68.2174	5.25625	1
473008	9144035	5.61012	113.0686	5.70345	5
472956	9143121	15.11669	68.54186	59.9067	2
471907	9143025	33.33637	59.84184	8.62605	1
473015	9144989	3.434803	109.5111	7.90725	5
471921	9144799	14.2245	67.21908	14.0849	4
470972	9145953	43.04232	65.06324	10.5546	1
471992	9146220	4.49706	55.62241	17.12755	3
473006	9146000	12.04372	60.67929	10.36645	4
472978	9146950	10.92409	59.68482	21.55495	4
471957	9147004	10.4648	39.53297	38.34395	3
471010	9147013	6.352967	71.12141	54.56975	2
470015	9146981	7.274238	62.05161	2.23085	4
470000	9146014	1.565227	99.48762	11.2828	5
469000	9146010	11.77722	61.66104	32.2063	4
468926	9146852	22.09243	65.21874	32.2217	1
467970	9146038	17.90565	56.54912	23.92035	1
467994	9147014	4.829106	69.62019	24.21685	4
467960	9138986	17.43883	222.8874	1.83215	6
468986	9139015	9.120304	103.9297	2.38055	5

469959	9139026	12.73357	69.66334	54.0066	2
470934	9138953	59.03187	58.44637	7.16975	1
472005	9137951	17.37415	64.75545	25.4817	4
472146	9138799	44.14847	58.35301	30.596	1
471008	9138011	5.030478	93.25862	49.11215	4
472264	9136964	22.15221	71.12691	2.93155	4
471019	9136991	2.264866	184.0073	3.96355	6
479998	9137994	6.236239	123.6736	13.13255	5
468819	9137867	5.664056	92.26556	9.5805	4
477959	9155029	2.735467	59.82395	10.12805	4
477958	9155900	2.947798	63.47889	1.63775	4
478023	9156945	7.469401	40.36089	7.04365	3
476991	9155854	3.828035	64.19601	15.1685	4
476923	9155375	6.396485	67.82434	58.19475	2
476047	9155990	7.031824	39.43137	3.3764	3
475925	9156853	2.959384	38.17479	9.59785	3
476143	9155170	2.354979	108.7704	2.9581	5
476008	9153974	6.150031	92.86815	14.4209	4
476943	9153690	5.123085	53.5317	29.1464	3
475005	9155049	5.569508	99.05229	19.13725	5
475111	9155811	113.534	38.86877	15.00245	1
475010	9157027	1.86341	83.04622	18.36955	4
474114	9158027	7.200625	37.74965	21.44535	3
473942	9156891	2.821956	138.499	15.29215	5
473962	9156032	0.795521	116.922	19.8106	5
473940	9154856	8.336468	41.05157	12.7192	3
473967	9154105	15.39597	44.06994	9.9528	3
472990	9153996	1.508048	136.4562	14.54205	5

473018	9154833	12.76101	31.76685	43.86725	2
472966	9155861	2.744654	41.90216	18.5447	3
473016	9157183	2.342803	39.15063	10.7396	3
472974	9158076	5.213394	32.41075	11.14065	3
464897	9154037	2.106298	38.00957	11.9046	3
465871	9155084	1.958137	37.84219	15.2729	3
466049	9155990	0.383288	83.55071	66.72775	2
466862	9158028	0.325869	108.3441	14.1862	5
467117	9159087	0.24617	150.8127	12.33615	6
468014	9159057	0.377348	137.202	18.864	5
469172	9158905	8.502009	37.75144	13.5692	3
470846	9158084	32.43343	39.17985	15.288	1
472004	9157871	1.1693	54.90881	16.57025	3
472080	9158926	1.225765	136.0072	16.09565	5
472004	9159681	0.350412	136.89	25.8729	5
470959	9159846	22.97707	34.97773	16.7425	1
471963	9161126	3.021125	28.97731	11.9559	3
470976	9161046	0.757169	104.6054	12.7626	5
470974	9158980	6.902433	35.30904	14.04835	3
470997	9157014	5.125363	41.17274	20.08415	3
471886	9156740	2.894935	40.12756	16.21225	3
472019	9155970	8.687751	32.48165	15.1265	3
471988	9155127	3.451878	45.25322	34.5572	3
471874	9154316	20.661	34.01363	15.98605	3
471172	9154158	68.56111	32.70984	21.3434	1
470849	9154726	8.547247	39.168	45.1906	2
469958	9154007	6.013264	35.80436	11.95505	3
469769	9154743	31.11673	35.50996	7.4545	1
469993	9156121	2.711901	42.05867	11.1711	3

469794	9156963	1.428083	95.76243	14.18665	5
470093	9157751	3.545932	37.15314	12.2171	3
469966	9158869	4.190656	37.137	60.224	2
469643	9159615	0.59974	97.3109	10.9261	5
468989	9159937	11.33455	39.15835	17.656	3
468019	9160080	0.458949	117.9227	13.5485	5
467029	9160119	0.313507	124.9498	36.4414	5
466957	9161036	2.567353	31.93727	6.6363	3
465950	9153927	9.426237	38.81616	43.86445	2
466949	9154002	8.084964	39.90342	53.99135	2
468984	9154027	34.32203	36.12136	27.2271	1
469062	9154994	38.64867	35.54646	30.33385	1
469099	9156193	0.620317	108.0563	12.75125	5
468946	9156938	4.793636	42.73101	22.34935	3
467909	9157791	7.138016	37.56913	15.79725	3
467992	9157033	22.36488	43.56875	7.1005	1
467985	9156020	1.887008	49.01512	12.49845	3
468043	9155069	48.53602	36.24469	0.9697	1
466829	9154875	40.82357	36.51805	10.0355	1
467041	9156058	20.51923	35.28445	10.5443	3
467045	9156927	0.261985	121.3948	22.2453	5
468005	9161010	4.970843	32.05733	22.51075	3
468992	9160883	16.33909	33.48612	5.21935	3
469987	9160885	4.298844	33.46829	18.1604	3
466153	9157040	3.786964	108.5229	46.80815	5
465999	9157989	0.97224	126.4549	22.5344	5
465925	9158978	3.365037	117.9651	18.21915	5
466190	9159859	0.721093	133.8957	26.8299	5

465939	9161059	3.210692	34.58024	13.58175	3
464996	9160962	4.240226	41.65286	11.60735	3
465923	9162166	3.332687	37.79981	21.92825	3
465048	9161967	0.986186	90.58704	18.7791	4
464934	9160043	3.251848	37.36624	75.30365	2
464990	9158925	4.621314	117.555	24.1468	5
464904	9157836	12.14767	33.58452	15.28735	3
464886	9156921	0.672394	100.8171	11.20945	5
465086	9156011	17.20668	35.87419	52.5398	2
465132	9154956	16.41414	36.12646	69.63305	2
463933	9153960	14.11633	41.52452	17.16805	3
463059	9154975	17.89736	37.1486	22.0177	3
464112	9154991	11.28365	39.32271	29.911	3
464038	9155953	0.392576	126.0109	29.0661	5
463105	9156955	6.491593	36.09555	76.004	2
463990	9157008	5.55404	34.3097	18.99095	3
463993	9157955	6.250814	46.88109	17.33365	3
464030	9158906	1.332359	116.7532	14.28885	5
464345	9159640	1.317916	85.61628	71.6381	2
464199	9160219	5.112007	97.54722	34.7239	5
463962	9161006	4.39746	91.71547	15.03135	4
463848	9161908	4.223209	86.76355	36.1874	4
462875	9153963	13.38269	39.2194	49.1301	2
461965	9154119	22.92442	38.20494	27.4207	1
462907	9155848	1.835316	168.8901	18.30745	6
461928	9155947	0.788583	113.9454	12.1794	5
462231	9154924	6.116329	37.71072	0.023	3
462011	9156982	0.642785	152.8089	11.93295	6
462998	9157934	4.311621	43.69039	26.5788	3

463059	9158880	9.846746	46.77584	8.4416	3
462738	9159672	7.110074	40.81814	82.0925	2
461841	9160444	6.698606	42.54163	21.67945	3
462047	9159919	6.163292	41.22417	83.5326	2
463030	9160004	1.48836	66.89019	91.9877	2
462972	9161003	11.35753	67.91132	8.75585	4
462976	9162084	3.308728	81.84765	33.47305	4
461946	9162052	6.121801	43.20329	10.5631	3
461060	9162018	2.214177	56.48742	21.9897	4
461989	9160945	6.246561	36.14954	18.59165	3
460884	9160994	2.441165	54.69264	25.29465	3
460999	9160017	1.676728	65.48467	21.0534	4
460993	9159023	3.22287	42.45804	0.05595	3
461968	9158930	1.150291	155.4879	12.5375	6
462037	9158079	0.549567	120.0766	1.5146	5
461030	9158006	2.69613	45.54029	25.38955	3
460970	9156831	2.112667	177.3103	8.9903	6
460878	9156023	6.646851	38.87656	15.42355	3
461073	9155064	0.848622	146.972	21.8316	6
461036	9154172	10.26325	41.89225	17.1975	3
460051	9154055	14.50653	41.98199	15.18485	3
458946	9153988	16.09136	42.25886	10.9385	3
458947	9154984	0.526497	143.1852	25.23425	6
460047	9155096	16.89533	43.4259	17.1001	3
460163	9155947	3.314904	39.67916	44.46265	2
459000	9156040	3.34924	42.40902	12.08985	3
458895	9156960	1.090415	106.8155	24.14395	5
460049	9158057	5.785126	48.17171	52.3489	2

459051	9158971	1.959227	92.61322	17.4732	4
460040	9159004	1.811218	91.27899	33.81975	4
459971	9160015	4.25185	43.35705	36.94575	3
459174	9160157	1.035135	75.57356	24.26145	4
457971	9161034	4.434779	45.27991	17.5479	3
458900	9161000	2.457615	42.83613	23.38885	3
460029	9161017	0.299745	145.2888	3.53825	6
459993	9161991	3.410474	46.51677	12.6362	3
459006	9162025	2.647595	69.73047	26.2557	4
457875	9162998	2.782323	71.10281	16.64525	4
457934	9162040	7.679164	40.79665	14.71725	3
458003	9159938	7.034415	44.3001	19.8726	3
457997	9159083	6.913594	47.62111	32.0927	3
458018	9158035	0.529857	101.0945	4.45885	5
457818	9157134	6.488119	55.8303	33.5803	4
457945	9156888	0.478889	152.4065	45.03735	6
456992	9157089	4.490445	51.7335	23.8143	3
457047	9156055	3.450068	50.93115	35.9173	3
457897	9155961	2.35165	40.97009	46.7484	2
458016	9154972	5.387685	41.12976	22.21155	3
458032	9153990	0.96685	137.7589	72.88395	5
455096	9154062	1.362213	173.2752	19.934	6
455993	9155009	2.009837	55.89615	12.699	3
455948	9155997	0.274395	170.7082	16.2225	6
456044	9156983	2.802512	53.68421	11.5036	3
457028	9158013	0.417858	170.2747	15.2874	6
456250	9158029	4.607683	49.11578	25.1865	3
455922	9158890	4.51695	172.0021	23.77035	6
456930	9158909	3.192357	45.6973	4.2363	3

456999	9160045	0.791967	145.5331	12.04545	6
456032	9160040	1.409965	172.7813	15.658	6
456006	9160784	2.05813	81.13552	11.5415	4
457050	9160986	0.312525	157.0621	3.1889	6
456067	9162224	7.90939	42.30247	4.7184	3
456959	9161893	2.534496	54.51796	34.37515	3
455980	9162928	3.877679	60.97788	57.3127	2
455997	9163996	2.083963	54.36408	49.98495	2
457023	9163036	1.442697	65.51564	77.64775	2
455018	9162052	4.052691	59.74197	5.8679	4
453973	9161940	5.272237	48.8917	10.10105	3
455106	9161213	3.030171	66.15204	5.73125	4
454974	9160987	2.877885	65.65693	11.3411	4
454043	9161014	0.783948	161.5217	9.80465	6
454063	9160038	6.831153	43.78309	40.4275	2
454996	9159952	2.673399	63.39589	5.5543	4
455064	9158028	7.935665	52.0396	9.20565	3
455031	9156969	0.502939	71.66606	14.8877	4
454944	9155991	0.975644	181.2432	14.8262	6
455023	9154939	3.318038	54.67066	14.7508	3
455831	9153879	0.890343	172.494	15.4606	6
457053	9154039	10.76861	41.00309	33.2659	3
456942	9154893	0.357202	168.3147	17.69015	6
453956	9155074	0.589758	154.4294	26.618	6
454007	9154056	1.510466	55.95447	25.3247	4
453003	9153998	0.824941	135.5218	22.97415	5
453029	9155023	1.222676	89.45795	9.2426	4
452964	9156027	3.013284	83.19982	13.1381	4

452950	9156998	3.730971	72.43034	16.46025	4
454033	9156976	6.93066	55.75414	15.17585	3
453859	9157978	3.493637	65.3158	19.55905	4
453267	9158066	1.162841	182.8726	19.65545	6
453047	9159090	0.602501	181.0432	11.9128	6
453901	9158877	2.644226	55.75883	19.32825	3
453075	9160005	1.148011	141.6133	28.1889	5
452944	9160994	3.234343	39.30129	17.39505	3
453096	9162069	10.09982	46.09619	18.65385	3
443129	9154031	0.580771	149.2221	29.66735	6
443080	9155016	0.416822	152.0533	31.2686	6
443883	9161028	4.587774	46.34968	14.6492	3
445757	9158941	2.87342	54.88542	16.53195	3
447145	9155973	1.294616	185.7937	44.19125	6
446813	9148400	6.676801	76.447	19.2478	4
450200	9149933	6.967842	59.89539	40.51325	2
451811	9154094	0.736567	140.7131	24.87915	5
451913	9154891	0.525443	156.1429	28.4289	6
451881	9155978	4.069701	59.05138	21.7124	4
452172	9157733	5.160857	71.22761	35.28405	4
451946	9157995	0.735049	160.1178	16.61345	6
451804	9158817	1.431805	145.0755	12.04485	6
451046	9160071	1.702441	152.7036	45.32505	6
451681	9160481	2.266084	51.48399	10.57275	3
450948	9160952	6.042676	162.3265	12.6345	6
450094	9160014	4.936677	47.55437	51.51065	2
450162	9159350	1.059294	126.1141	60.6864	5
449609	9158879	5.596677	171.8375	20.1249	6
450808	9158029	3.680899	55.88193	18.92005	3

450975	9157002	6.962686	56.56446	14.18025	3
450794	9154812	3.017384	45.8142	39.5415	2
450126	9156040	0.431998	156.0228	29.01125	6
449989	9156733	3.255901	56.54019	28.22885	4
449636	9156989	2.798762	147.5247	20.66835	6
449093	9156484	1.718404	124.8219	19.73915	5
448951	9156142	1.181202	120.2066	15.87935	5
448832	9154960	3.694279	60.49722	26.6158	4
449736	9154672	2.069433	67.36629	16.84045	4
449999	9154026	0.865325	139.3729	15.4914	5

B. Source Code GK Clustering

```

clc;close all;clear all;
d=xlsread('dataklaten.xlsx',3);
Z=d(:,3:5);
n=size(Z,1);
c=6;m=2;tol=1e-6;beta=10^5;gamma=0.9;
U0=initgk(c,n);
[U,V,F,d] = gk(Z,U0',m,tol,beta,gamma);
[VIndex1,VIndex2]=validityofGK(V,F,U,Z);
gambar(c,Z,U,V)
[z,gIdx]=max(U,[],2);

function U = initgk(c,n)
U = rand(c,n);
col_sum = sum(U);
U = U./col_sum(ones(c, 1), :);

function [U,V,F,ZV] = gk(Z,U0,m,tol,beta,gamma)
% Numerically robust Gustafson-Kessel algorithm
%
% [U,V,F] = GK(Z,U0,m,tol,beta,gamma)
%-----%
```



```

% Input: Z ... N by n data matrix
% U0 ... initial fuzzy partition matrix
% or the number of clusters
% m ... fuzziness exponent (m > 1)
% tol ... termination tolerance
% beta ... condition number threshold
% gamma ... weighting for covariance
%-----%
% Output: U ... fuzzy partition matrix
% V ... cluster means (centers)
% F ... cluster covariance matrices
%----- prepare matrices -----%
[mz,nz] = size(Z); % data size
c = size(U0,2);
if c == 1, c = U0; end; % # of clusters
mZ1 = ones(mz,1); % aux. variable
nZ1 = ones(nz,1); % aux. variable
V1c = ones(1,c); % aux. variable
U = zeros(mz,c); % partition matr.
d = U; % distance matrix
F = zeros(nz,nz,c); % covariance matr.
f0=eye(nz)*det(cov(Z)).^(1/nz); % "identity"
matr.
%----- initialize U -----%
if size(U0,2) == 1,
    minZ = V1c'*min(Z); maxZ = V1c'*max(Z);
    V = minZ + (maxZ-minZ).*rand(c,nz);
    for j = 1 : c,
        ZV = Z - mZ1*V(j,:);
        d(:,j) = sum((ZV.^2)')';
    end;

    d = (d+1e-100).^(-1/(m-1));
    U0 = (d ./ (sum(d')'*V1c));
end;
%----- iterate -----%
while max(max(abs(U0-U))) > tol
    U = U0; Um = U.^m; sumU = sum(Um);
    V = (Um'*Z)./(nZ1*sumU)';

```

```

    for j = 1 : c,
        ZV = Z - mZ1*V(j,:);
        f = nZ1*Um(:,j)'.*ZV'*ZV/sumU(j);
        f=(1-gamma)*f+gamma*f0;
        if cond(f)>beta;
            [ev,ei]=eig(f); eimax =
max(diag(ei));
            ei(beta*ei < eimax) = eimax/beta;
            f=ev*diag(diag(ei))*inv(ev);
        end;

d(:,j)=sum((ZV*(det(f)^(1/nz)*inv(f)).*ZV)')';
    end;
    d = (d+1e-100).^(-1/(m-1));
    U0 = (d ./ (sum(d')'*V1c));
end
%----- create final F and U -----%
Um = U0.^m; sumU = nZ1*sum(Um);
for j = 1 : c,
    ZV = Z - mZ1*V(j,:);
    F(:,j) = nZ1*Um(:,j)'.*ZV'*ZV/sumU(1,j);
end;

function
[Validity1,Validity2]=validityofGK(V,F,U,Z);
[c m]=size(V);

Nz=max(size(Z));
NZ1 = ones(Nz,1); % aux. variable
for ii=1:c
    y(ii)=sqrt(det(F(:, :, ii)));
end

Validity1.FHV=sum(y); %Hypervolume index
Validity1.APD=mean(sum(U)./y); % average
partition density
Validity1.PD=sum(sum(U))/Validity1.FHV; %
partition density index

```

```

% Sperate Index
for j = 1 : c,
    ZV = Z - NZ1*V(j,:);
    d(:,j) = sum((ZV.^2)')';
end
mask = zeros(c,m,c);
%calculate separation of clusters
for i = 1:c
    for j =1:c
        mask(j,:,i) = V(i,:);
    end
    dist(i) = sum(sum((mask(:, :, i) - V).^2));
end
Validity1.S=sum(sum(U.^2.*d.^2))/(Nz*min(dist)^2);
Pc=1/Nz*sum(sum(U.^2));
Validity2.Mpc=1-c/(c-1)*(1-Pc);

% EFLD index
mZ=mean(Z);
sbe=sum(sum(U*(V-ones(c,1)*mZ).^2));
R=(ones(c,Nz)*Z-V).^2;
swe=sum(sum(U*R));
Validity2.Je=sbe/swe;

function gambar(nc,data,U,center)
maxU=max(U');
maxU=maxU';
if nc==2
    % Find the data points with highest grade of
membership in cluster 1
    index1 = find(U(:,1) == maxU);
    % Find the data points with highest grade of
membership in cluster 2
    index2 = find(U(:,2) == maxU);
    figure
    plot(data(index1,1),data(index1,2),'og');
    hold on

```

```

        xlabel 'PGA,Damping'
        ylabel 'Indeks Kerentanan Seismik'
        plot(data(index2,1),data(index2,2),'or');

plot([center(1,1)],[center(1,2)],'sg','linewidth
',2.5)

plot([center(2,1)],[center(2,2)],'sr','linewidth
',2.5)
    %axis([-0.1 1.1 -0.1 1.1])
    grid on
    hold off;
elseif (nc==3)
    % Find the data points with highest grade of
membership in cluster 1
    index1 = find(U(:,1) == maxU);
    % Find the data points with highest grade of
membership in cluster 2
    index2 = find(U(:,2) == maxU);
    index3=find(U(:,3)==maxU);
    figure
    plot(data(index1,1),data(index1,2),'og');
    hold on
    xlabel 'PGA,Damping'
    ylabel 'Indeks Kerentanan Seismik'
    plot(data(index2,1),data(index2,2),'or');
    plot(data(index3,1),data(index3,2),'ok');

plot([center(1,1)],[center(1,2)],'sg','linewidth
',2.5)

plot([center(2,1)],[center(2,2)],'sr','linewidth
',2.5)

plot([center(3,1)],[center(3,2)],'sk','linewidth
',2.5)
    %axis([-0.1 1.1 -0.1 1.1])
    grid on
    hold off;

```

```

elseif nc==4;
    % Find the data points with highest
    grade of membership in cluster 1
    index1 = find(U(:,1) == maxU);
    % Find the data points with highest grade of
    membership in cluster 2
    index2 = find(U(:,2) == maxU);
    index3=find(U(:,3)==maxU);
    index4=find(U(:,4)==maxU);

    plot(data(index1,1),data(index1,2),'og','linewidth
    th',1.5);
    hold on
    title 'Clustering data Mikrotremor Daerah
    Klaten'
    ylabel 'PGA,Damping'
    xlabel 'Indeks Kerentanan Seismik'

    plot(data(index2,1),data(index2,2),'or','linewidth
    th',1.5);

    plot(data(index3,1),data(index3,2),'ok','linewidth
    th',1.5);

    plot(data(index4,1),data(index4,2),'ob','linewidth
    th',1.5);
    % Plot the cluster centers

    %plot([center(1:4,1)],[center(1:4,2)'],'sb','line
    width',2)

    plot([center(1,1)],[center(1,2)'],'sg','linewidth
    ',3.5)

    plot([center(2,1)],[center(2,2)'],'sr','linewidth
    ',3.5)

    plot([center(3,1)],[center(3,2)'],'sk','linewidth
    ',3.5)

```

```

plot([center(4,1)], [center(4,2)], 'sb', 'linewidth
', 3.5)
    grid on
    hold off;
elseif nc==5
    % Find the data points with highest
grade of membership in cluster 1
    index1 = find(U(:,1) == maxU);
    % Find the data points with highest grade of
membership in cluster 2
    index2 = find(U(:,2) == maxU);
    index3=find(U(:,3)==maxU);
    index4=find(U(:,4)==maxU);
    index5=find(U(:,5)==maxU);
    plot(data(index1,1), data(index1,2), 'og');
    hold on
    xlabel 'PGA, Damping'
    ylabel 'Indeks Kerentanan Seismik'
    plot(data(index2,1), data(index2,2), 'or');
    plot(data(index3,1), data(index3,2), 'ok');
    plot(data(index4,1), data(index4,2), 'oy');
    plot(data(index5,1), data(index5,2), 'oc');
    % Plot the cluster centers

%plot([center(1:5,1)], [center(1:5,2)], 'sb', 'line
width', 2.5)

plot([center(1,1)], [center(1,2)], 'sg', 'linewidth
', 2.5)

plot([center(2,1)], [center(2,2)], 'sr', 'linewidth
', 2.5)

plot([center(3,1)], [center(3,2)], 'sk', 'linewidth
', 2.5)

plot([center(4,1)], [center(4,2)], 'sy', 'linewidth
', 2.5)

```

```

plot([center(5,1)], [center(5,2)], 'sc', 'linewidth
', 2.5)
    grid on
    grid on
    hold off;
elseif nc==6
    % Find the data points with highest
    grade of membership in cluster 1
    index1 = find(U(:,1) == maxU);
    % Find the data points with highest grade of
    membership in cluster 2
    index2 = find(U(:,2) == maxU);
    index3=find(U(:,3)==maxU);
    index4=find(U(:,4)==maxU);
    index5=find(U(:,5)==maxU);
    index6=find(U(:,6)==maxU);

plot(data(index1,1), data(index1,2), 'og', 'linewid
th', 1.5);
    hold on
    title 'Clustering data Mikrotremor Daerah
Klaten'
    ylabel 'Kg, PGA'
    xlabel 'Frekuensi natural'

plot(data(index2,1), data(index2,2), 'or', 'linewid
th', 1.5);

plot(data(index3,1), data(index3,2), 'ok', 'linewid
th', 1.5);

plot(data(index4,1), data(index4,2), 'oy', 'linewid
th', 1.5);

plot(data(index5,1), data(index5,2), 'oc', 'linewid
th', 1.5);

plot(data(index6,1), data(index6,2), 'ob', 'linewid
th', 1.5);

```

```
% Plot the cluster centers

%plot([center(1:5,1)], [center(1:5,2)], 'sb', 'linewidth', 2.5)

plot([center(1,1)], [center(1,2)], 'sg', 'linewidth', 2.5)

plot([center(2,1)], [center(2,2)], 'sr', 'linewidth', 2.5)

plot([center(3,1)], [center(3,2)], 'sk', 'linewidth', 2.5)

plot([center(4,1)], [center(4,2)], 'sy', 'linewidth', 2.5)

plot([center(5,1)], [center(5,2)], 'sc', 'linewidth', 2.5)

plot([center(6,1)], [center(6,2)], 'sb', 'linewidth', 2.5)
    grid on
    grid on
    hold off;
end
```


BIODATA PENULIS



Penulis “Anisah Rahmahnia” merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Lahir di Surabaya pada tanggal 15 Desember 1994 dari pasangan Ir. H. Sutarno dan Endang Retno Surachmi. Semasa kecil penulis menempuh pendidikan formal antara lain di TK Al Falah Surabaya, SD Al Falah Surabaya, SMP Al Hikmah Surabaya, dan SMA Negeri 15 Surabaya. Penulis diterima di jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN undangan dan terdaftar dengan NRP 1113100004.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi mahasiswa. Beberapa organisasi yang sempat ditekuni yaitu sebagai staff BSO Physics Summit (2014-2015), staff kaderisasi FOSIF ITS (2014-2015), staff PSDM AAPG ITS SC (2014-2015), sekretaris SM-IAGI ITS (2014-2015), Wakil Direktur BSO Physics Summit Himasika ITS (2015-2016), sekretaris AAPG ITS SC (2015-2016), dan ketua divisi IT HMGI Regional IV (2015-2016).

Semasa kuliah penulis aktif mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa, workshop, dan seminar tingkat nasional. Prestasi yang pernah diraih penulis selama duduk di bangku perkuliahan yakni PKM terdananai DIKTI. Akhir kata apabila ada kritik dan saran, pembaca dapat mengirim pesan ke: arahmahnia@gmail.com.